



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial**

*Título: EVALUACION DE DEFECTOS Y DISCONTINUIDADES DE LA SOLDADURA  
POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, EN LA  
FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE 3000mm DE DIAMETRO*

*Title: EVALUATION OF DEFECTS AND DISCONTINUITY OF WELDING  
THROUGH THE APPLICATION NON DESTRUCTIVE METHODS OF  
EXAMINATION, IN THE MANUFACTURE OF PIPES OF 3000 mm OF DIAMETER*

**Autor: Sara Beatriz Izurieta Yáñez**

**Director: Tania Catalina Rojas Parraga**

Guayaquil, Noviembre de 2017

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA**

Yo, **Sara Beatriz Izurieta Yáñez**, declaro que soy el único autor de este trabajo de titulación titulado “**EVALUACION DE DEFECTOS Y DISCONTINUIDADES DE LA SOLDADURA POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE 3000mm DE DIAMETRO**”. Los conceptos aquí desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

---

**Sara Beatriz Izurieta Yáñez**  
**CI: 0931735401**

### **DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Quien suscribe, en calidad de autor del trabajo de titulación titulado “**EVALUACION DE DEFECTOS Y DISCONTINUIDADES DE LA SOLDADURA POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE 3000mm DE DIAMETRO**”, por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.

---

**Sara Beatriz Izurieta Yáñez**

**CI: 0931735401**

## **DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Quien suscribe, en calidad de director del trabajo de titulación titulado **“EVALUACION DE DEFECTOS Y DISCONTINUIDADES DE LA SOLDADURA POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS DE 3000mm DE DIAMETRO”**, desarrollado por el estudiante **Sara Beatriz Izurieta Yáñez** previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Dado en la Ciudad de Guayaquil, a los 15 días del mes de Marzo de 2017

---

**Ing. Tania Catalina Rojas Parraga**  
**Docente Director del Proyecto Técnico**

## **Dedicatoria**

A Dios porque sin él no sería nada.

A mi hermana Raquel y mi pequeña sobrina Nahomi quienes son el motor de mi vida.

A mí soulmate Oscar por apoyarme durante este largo camino.

## **Agradecimientos**

Mi agradecimiento infinito a Dios quien me ha permitido llegar hasta este punto y poder completar una más de mis metas.

A mi familia en especial a mis padres Narcisa Yáñez y Roberto Izurieta por estar conmigo siempre aconsejándome, enseñándome a ser una mujer integra y dándome su incondicional apoyo.

A mi prima Clara Yáñez que siempre ha estado junto mi brindándome no solo su amor sino también apoyo incondicional en cada una de las decisiones que he tomado.

A mi novio Oscar Bravo por estar conmigo en los buenos y en los malos momentos ayudándome siempre a seguir adelante y no enfrascarme en los problemas, a sus padres y hermanos quienes me abrieron las puertas de su hogar brindándome su confianza y apoyo durante mi carrera.

A “los aplicados” quienes durante estos cinco años de estudio no solo han sabido ser compañeros sino grandes amigos y han compartido conmigo grandes momentos entre clases, proyectos, peloteos, fiestas y viajes.

A mis docentes por haberme transmitido sus conocimientos y darme las herramientas para desenvolverme en el campo profesional, en especial a la miss Johana Founes que más allá de ser una excelente docente ha sido como nuestra madre académica y siempre ha estado presta a darnos su consejo para que nuestro desarrollo no sea solamente académico sino también integral.

A la Ingeniera Sanny Salazar porque en el poco tiempo que me llevan conociendo no solo me ha brindado su amistad sino que en conjunto con el Ingeniero Juan Arroyo me dieron pautas importantes y fueron guía para asegurar el éxito de este trabajo.

Finalmente agradezco al Ingeniero Marcos Eras Guamán y a quienes conforman la empresa Obraplanfis S.A. por confiar en mí, transmitiéndome sus conocimientos en el campo y permitiéndome realizar mi trabajo de titulación.

### **Abstract**

The development of this research was carried out to identify the different discontinuities found by the application non-destructive methods of examination on the welding cords to a pressure pipe ASTM A572 Gr. 50 material manufactured in a metalworking industry in the city of Guayaquil, the objective for this study was to analyze the causes of discontinuities, to take corrective and preventive measures to minimize them. An initial information survey was carried out in this industry, identifying the different discontinuities in the welding cords both longitudinally and circumferentially by non-destructive methods of examination and projects company Obraplanfis SA using the inductive method with photographic records each process to perform non-destructive tests which are: penetrating liquids, phased array ultrasound, industrial radiography and visual inspection, being this last one the method by which was found greater amount of discontinuities. This research proposes solutions to reduce the different types of discontinuities by conducting an analysis of the causes either by technological factors or human factors. During the process, a comparative analysis of costs per meter application non-destructive methods of examination among five companies that provide their service in the city of Guayaquil was carried out. It is concluded that the presence of discontinuities is due to the human factor since these include causes such as poor application of welding techniques and improper handling of welding equipment. This project makes recommendations to reduce the presence of discontinuities in the welding cords and improve the quality of the finished product reducing costs for repair and minimizing delays in production.

Key words: Welding, Non-Destructives Tests, Factors, Visual Inspection, Penetrants Liquids, Ultrasound Phased Array, Industrial Radiography, Pipe, Discontinuities.

## **Resumen**

El desarrollo de esta investigación se realizó para identificar las diferentes discontinuidades encontradas mediante la aplicación de ensayos no destructivos en los cordones de soldadura de una tubería a presión de material ASTM A572 Gr. 50 fabricada en una industria metalmecánica de la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de analizar las causas por la que se presentan las discontinuidades, para tomar medidas correctivas y preventivas para minimizarlos, por esta razón se realizó un levantamiento de información inicial en la industria metalmecánica identificando las diferentes discontinuidades en los cordones de soldadura tanto longitudinal como circunferencialmente por medio de la empresa de proyectos y ensayos no destructivos Obraplanfis S.A. utilizando el método inductivo contando con registros fotográficos de cada uno de los procesos para realizar ensayos no destructivos los cuales son: inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido Phased Array, radiografía industrial, siendo la inspección visual el método por el cual se hallaron la mayor cantidad de discontinuidades. Esta investigación propone soluciones para reducir los diferentes tipos de discontinuidades realizando un análisis de las causas ya sean por factores tecnológicos o factores humanos. Durante el proceso se realizó un análisis comparativo de costos por metro de aplicación de cada uno de los ensayos no destructivos entre cinco empresas que prestan su servicio en la ciudad de Guayaquil. Se concluye que la presencia de discontinuidades se debe al factor humano ya que estos engloban causas como la mala aplicación de las técnicas de soldadura y por el manejo incorrecto del equipo de soldadura. Este proyecto realiza recomendaciones para disminuir la presencia de discontinuidades en los cordones de soldadura y mejorar la calidad del producto terminado reduciendo costos por reparación y minimizando los retrasos en la producción.

Palabras claves: Soldadura, Ensayo no Destructivo, Factores, Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Ultrasonido Phased Array, Radiografía Industrial, Tubería, Discontinuidades.



## **Abreviaturas**

ASME - American Society of Mechanical Engineers

ASNT - American Society for non-destructive Testing

ASTM - American Society For Testing and Materials

AW - Arc Welding

AWS - American Welding Society

B - Brazing

END - Ensayo No Destructivo

FCAW - Soldadura de arco con núcleo de fundente

GMAW - Soldadura por arco metálico con gas protector

GTAW - Soldadura de Arco Gas Tungsteno

LUX - Unidad de intensidad de iluminación

OGW - Oxyfuel Gas Welding

PAUT - Ultrasonido Phased Array

PQR - Procedimiento de registro de calificación de soldadura

PT - Líquidos Penetrantes

RT - Radiografía Industrial

RW - Resistance Welding

S - Soldering

SAW - Soldadura de arco sumergido

SMAW - Soldadura manual de metal

SSW - Solid State Welding

UT - Ultrasonido

VT - Inspección visual

WPS - Especificaciones de Procedimientos de Soldadura

ZAT - Zona afectada térmicamente

## Índice de Contenidos

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	II
DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
Dedicatoria .....	V
Agradecimientos .....	VI
Abstract .....	VII
Resumen.....	VIII
Abreviaturas .....	IX
Índice de tablas.....	XIV
Índice de Anexos.....	XVI
Introducción .....	1
Capítulo 1 .....	4
Problema .....	4
1.1.    Antecedentes .....	4
1.2.    Importancia y alcance.....	5
1.3.    Delimitación .....	6
1.4.    Objetivo general .....	7
1.5.    Objetivos específicos.....	7
Capítulo 2 .....	9
Marco teórico .....	9
2.1.    Soldadura.....	9
2.2.    Procesos de Soldadura.....	10
2.2.1.    Proceso de Soldadura SMAW .....	11
2.2.2.    Proceso de soldadura GMAW (MIG/MAG).....	11
2.2.3.    Proceso de soldadura FCAW .....	12
2.2.4.    Proceso de soldadura GTAW (TIG) .....	13
2.2.5.    Proceso de soldadura SAW .....	14
2.3.    Tipos de Juntas .....	15
2.4.    Tipos de Soldaduras .....	15
2.5.    Posiciones para la aplicación de soldadura para tubería .....	16
2.6.    Normas aplicables: Código ASME sección V .....	16
2.7.    Ensayos no destructivos .....	17
2.7.1. Ventajas .....	18
2.7.2. Desventajas .....	18
2.8.    Clasificación de los ensayos no destructivos .....	18
2.9.    Técnicas de inspección superficial .....	19
2.9.1.    Inspección visual (VT).....	19
2.9.2.    Líquidos penetrantes (PT) .....	20
2.9.3.    Partículas Magnéticas (MT).....	21
2.10.    Técnicas de inspección volumétrica.....	22
2.10.1.    Radiografía Industrial (RT).....	22

2.10.2.	Ultrasonido (UT).....	24
2.10.3.	Técnica de ultrasonido convencional (UT) .....	27
2.10.4.	Técnica de ultrasonido Phased Array (PAUT).....	28
2.11.	Técnicas de Inspección de Hermeticidad .....	29
2.12.	Defectos y Discontinuidades .....	29
2.13.	Defectos.....	30
2.14.	Discontinuidad .....	31
2.15.	Discontinuidades en el cordón de soldadura .....	31
Capítulo 3.....		37
Marco metodológico .....		37
3.1.	Aplicación de los END durante el proceso de construcción de la tubería ...	37
3.2.	Procedimiento de inspección visual de estructuras metálicas .....	38
3.2.1.	Documentos de referencia.....	38
3.2.2.	Requisitos del personal .....	38
3.2.3.	Equipos y accesorios a ser utilizados .....	38
3.2.4.	Desarrollo de la inspección .....	38
3.2.5.	Criterios de aceptación y rechazo .....	39
3.3.	Procedimiento de Inspección Ultrasónica con la técnica Phased Array .....	39
3.3.1.	Documentos de referencia.....	39
3.3.2.	Requisitos del personal .....	39
3.3.3.	Equipo a utilizar .....	39
3.3.4.	Limpieza de las zonas a inspeccionar .....	40
3.3.5.	Procedimiento de inspección.....	40
3.3.6.	Criterios de aceptación y rechazo .....	40
3.4.	Procedimiento de inspección radiografía .....	41
3.4.1.	Documentos de referencia.....	41
3.4.2.	Requisitos del personal .....	41
3.4.3.	Equipos y Fuente de Radiación.....	41
3.4.4.	Preparación de la superficie .....	41
3.4.5.	Película radiográfica.....	42
3.4.6.	Pantallas intensificadoras .....	42
3.4.7.	Técnica de exposición radiográfica.....	42
3.4.8.	Técnica de exposición radiográfica.....	42
3.4.9.	Tiempo de Exposición.....	43
3.4.10.	Densidad radiográfica .....	43
3.4.11.	Variaciones de densidad.....	44
3.4.12.	Definición de la imagen .....	44
3.4.13.	Densitómetros .....	44
3.4.14.	Penetrómetros.....	44
3.4.15.	Radiación dispersa .....	45
3.4.16.	Selección del penetrómetro .....	45
3.4.17.	Localización de penetrómetros .....	45
3.4.18.	Número de penetrómetros .....	45
3.4.19.	Proceso radiográfico.....	46
3.4.20.	Procesado de películas .....	46
3.4.21.	Criterios de aceptación .....	47

3.5.	Procedimiento de Inspección por el Método de Líquidos Penetrantes tipo II removible con solvente, para la inspección de cordones de soldadura .....	48
3.5.1.	Documentos de referencia.....	48
3.5.2.	Requisitos del personal .....	48
3.5.3.	Equipo y material utilizado .....	48
3.5.4.	Limpieza del área de inspección .....	48
3.5.5.	Aplicación del penetrante.....	49
3.5.6.	Tiempo de permanencia del penetrante.....	49
3.5.7.	Remoción del penetrante.....	49
3.5.8.	Secado de piezas .....	49
3.5.9.	Aplicación del revelador .....	49
3.5.10.	Inspección .....	50
3.5.11.	Interpretación de las indicaciones .....	50
3.5.12.	Limpieza posterior .....	50
3.5.13.	Criterios de aceptación y rechazo .....	50
Capítulo 4.....		51
Resultados .....		51
4.1.	Inspección mediante la aplicación de los END .....	51
4.2.	Discontinuidades detectadas mediante la aplicación de los END.....	53
4.3.	Análisis del resumen y determinación causas raíces que provocan .....	58
4.4.	Resultados de la aplicación de END posterior a la presentación de las propuestas de solución .....	61
4.5.	Comparación de efectividad de la aplicación de ensayos no destructivos en comparación con el método de ultrasonido.....	61
4.6.	Comparación de los costos de los END. ....	63
Conclusiones .....		65
Recomendaciones.....		68
Lista de referencias .....		69
<b>ANEXOS .....</b>		<b>73</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Diferencias entre Phased Array y ultrasonido convencional .....	29
Tabla 2. Valores máximos admitidos para penumbra geométrica .....	43
Tabla 3. FP de acuerdo al tipo de película .....	43
Tabla 4. Numero de hilos para penetrómetros .....	44
Tabla 5. Equipos y materiales utilizados para aplicación de END por método de tintas penetrantes.....	48
Tabla 6. Resumen de longitudes del cordón de soldadura inspeccionada aplicando END .....	52
Tabla 7. Resumen de discontinuidades encontradas aplicando método de inspección visual .....	53
Tabla 8. Resumen de discontinuidades encontradas aplicando método de ultrasonido...	55
Tabla 9. Resumen de discontinuidades encontradas aplicando método de líquidos penetrantes.....	57
Tabla 10. Especificación de las discontinuidades encontradas y sus posibles causas. ....	59
Tabla 11. Propuesta de soluciones .....	60
Tabla 12. Resumen de discontinuidades encontradas posterior a la aplicación de mejoras .....	61
Tabla 13. Detalle de los costos por metro de la aplicación de los END .....	63
Tabla 14 Costo de las inspecciones realizadas a muestra de 300 tubos.....	64
Tabla 15 Costo de las inspecciones realizadas a muestra de 75 tubos.....	64

Figura 1. Ubicación geográfica de OBRAPLANFIS S.A.....	6
Figura 2. Ubicación geográfica de la Planta Metalmecánica donde se realizarán los END. ....	7
Figura 3. Soldadura .....	9
Figura 4. Proceso de soldadura SMAW .....	11
Figura 5. Proceso de soldadura GMAW o MIG/MAG .....	12
Figura 6. Proceso de Soldadura FCAW .....	13
Figura 7. Proceso de soldadura GTAW (TIG) .....	13
Figura 8. Proceso de soldadura SAW .....	14
Figura 9. Esquema básico de los tipos de juntas .....	15
Figura 10. Esquema básico de los tipos de soldadura .....	16
Figura 11. Posiciones en soldadura para uniones de tuberías .....	16
Figura 12. Inspección visual con ayuda de elementos ópticos.....	19
Figura 13. Inspección de probeta mediante aplicación de líquidos penetrantes visibles. ....	21
Figura 14. Inspección de probeta mediante la aplicación de partículas magnéticas .....	22
Figura 15. Gráfico de discontinuidad en Ultrasonido .....	25
Figura 16. Inspección con aplicación de Ultrasonido .....	25
Figura 17. Defectos en uniones de soldadura a tope .....	30
Figura 18. Tipos de fisuras.....	34
Figura 19. Medición del desplazamiento de la virola con la ayuda de galga tipo puente.....	51
Figura 20. Inspección con ultrasonido a soldadura circunferencial del tubo conformado .....	52
Figura 21. Mordedura.....	53
Figura 22. Poros .....	54
Figura 23. Fisura .....	54
Figura 24. Prueba de unidad ultrasónica de Phased Array EPOCH 1000i .....	55
Figura 25. Visualización de porosidad interna detectada a través de inspección con PAUT .....	56
Figura 26. Reparación de porosidad interna localizada a través de inspección con PAUT .....	56
Figura 27. Radiografía de cordón de soldadura circunferencial. ....	57
Figura 28. Radiografía de cordón de soldadura longitudinal. ....	57
Figura 29. Aplicación de líquidos penetrantes como ayuda para reparación de defecto .....	58

## Índice de Anexos

Anexo 1 Certificado Inspección Visual .....	74
Anexo 2 Certificado Inspección por ultrasonido Phased Array.....	75
Anexo 3 Certificado Inspección Ultrasonido Convencional.....	76
Anexo 4 Certificado Inspección por Radiografía.....	77
Anexo 5 Certificado Inspección Líquidos Penetrantes Nivel II.....	78
Anexo 6 Certificado Inspección Líquidos Penetrantes Nivel I/II .....	79
Anexo 7 Certificado Inspección Líquidos Penetrantes y partículas Magnéticas .....	80
Anexo 8 Certificado Calibración de Equipos.....	81
Anexo 9 Certificado Visual Light Meter .....	82
Anexo 10 Proforma Obraplanfis S.A. ....	84
Anexo 11 Proforma Sendre Cía. Ltda. ....	85
Anexo 12 Proforma Sendades .....	86
Anexo 13 Proforma Sindes .....	87



## **Introducción**

La industria metalmecánica ha tenido mayor apertura en el mercado ecuatoriano debido al aumento de proyectos en el Ecuador tanto gubernamentales, por el cambio de la matriz productiva y energética como también en el sector privado, siendo de gran importancia garantizar la calidad de cada uno de estos trabajos.

Para el cumplimiento de los estándares de calidad internacionales establecidos en las normas ASME y AWS las industrias metalmecánicas se ven en la necesidad de realizar inspecciones exhaustas en los procesos de soldadura, por lo que se realiza la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos como proceso fundamental para la liberación del producto terminado.

La base legal del proyecto es la norma ASME Sección V en la que se pueden encontrar los criterios de aceptación y rechazo de los resultados obtenidos durante el proceso de aplicación de ensayos no destructivos, conceptos, definición de los diferentes tipos de discontinuidades

Los ensayos no destructivos permiten verificar la calidad de la soldadura detectando discontinuidades y defectos encontrados tanto en la superficie como en su interior, para así realizar reparaciones en el cordón de soldadura, en este caso se realizan ensayos no destructivos para no alterar las propiedades físicas, químicas o mecánicas del material a inspeccionar, una falla es un daño que no permite continuar con el servicio causando la sustitución prematura de los componentes, la falla de los materiales se puede producir por diferentes factores tales como la incorrecta selección de materiales, falla en la operación o por defectos en la fabricación.

La presente investigación se realizó en una industria metalmecánica con el fin de garantizar la calidad de los productos a través del control en cada uno de los procesos industriales que constituyen la construcción de una tubería a presión, en este caso para una hidroeléctrica con tuberías de 3000mm de diámetro y 12000mm de longitud en diferentes espesores de acuerdo a la necesidad del cliente, los espesores oscilan entre 12 mm y 100mm , para este estudio se tomó como muestra tuberías de 12mm de espesor.

Las diferentes discontinuidades se detectan por medio de la realización de ensayos no destructivos aplicados por la empresa Obraplanfis S.A., en las instalaciones de la industria metalmecánica, propiedad del cliente ubicada en la ciudad de Guayaquil, sector norte en la que se fabrican diferentes tipos de estructuras, tuberías, además de la prestación de servicios industriales. La empresa mencionada cuenta con una trayectoria de aproximadamente tres años, ha logrado especializarse en todo a cuanto ensayos no

destrutivos ya sean radiografías, ultrasonido, tintas penetrantes, partículas magnéticas, inspección visual, teniendo como misión lograr la satisfacción de todos sus clientes.

Entre las ventajas que se encuentran al realizar ensayos no destructivos es prevenir accidentes a futuro, el beneficio económico directo: ya que disminuye los costos de fabricación al encontrar las discontinuidades en las primeras etapas del proceso de fabricación del producto y beneficios indirectos contribuyendo a la mejora de diseños en puntos críticos.

El objetivo principal del proyecto es detectar las posibles discontinuidades que pueden encontrarse en un cordón de soldadura ya sea longitudinal o circunferencial en la fabricación de tuberías, mediante el método de ultrasonido Phased Array utilizando como metodología la observación documentando registros fotográficos de cada uno de los procesos de inspección.

El tiempo tomado para el desarrollo de la investigación fue de siete meses comprendido desde octubre del 2016 a mayo del 2017, durante este tiempo se realizó el reconocimiento del área a trabajar en la industria metalmecánica en la cual se recibió la respectiva inducción acerca de la empresa y sus procesos de trabajo.

Una vez realizado esto se definió el proyecto al cual se daría prioridad en la aplicación de ensayos no destructivos tomando en consideración que es el proyecto de mayor relevancia para la empresa.

Se tomó la muestra de los 300 tubos debido a que sería la prioridad de fabricación de acuerdo a la planificación mostrada del departamento de producción. En estos tubos se realizan tres tipos de ensayos: inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido Phased Array.

La propuesta de solución al problema planteado se realizó luego de evaluar la muestra de 300 tubos, elaborando una tabla resumen en la que se detallan cada una de las discontinuidades presentes en los cordones de soldadura de acuerdo a los métodos aplicados, mencionando las posibles causas y determinando las soluciones que permitan disminuir o erradicar estos problemas.

En el primer capítulo se encuentra detallada la información general del proyecto, los antecedentes de la empresa encargada de realizar ensayos no destructivos, Obraplanfis S.A, con su respectiva ubicación geográfica, y la documentación fotográfica de cada uno de los procesos que conllevan realizar los ensayos en este caso se profundiza en ultrasonido Phased Array, para detectar discontinuidades, además se dan a conocer la

importancia y el alcance del proyecto con sus objetivos principales y secundarios a resolverse durante la investigación.

En el segundo capítulo se describen las pautas teóricas acerca de la temática tratada para conocer las generalidades de la soldadura y los temas de importancia a tratarse para el mejor entendimiento de la investigación, ahondando en cada uno de los procedimientos para realizar ensayos no destructivos, breve introducción sobre la norma ASME Sección V, conceptos y definiciones de los diferentes tipos de defectos y discontinuidades que se pueden encontrar en un cordón de soldadura con su conceptualización e ilustraciones de cada una.

Se detallan además los procedimientos de soldadura aplicables tales como SAW, FCAW, SMAW, GTAW, describiendo características generales de cada proceso y tipos de juntas de soldadura

En el tercer capítulo se mencionan cada uno de los procedimientos de los ensayos no destructivos: Inspección visual, ultrasonido Phased Array, tintas penetrantes y radiografías, profundizando en el procedimiento, concepto y aplicación de estos ensayos, además de describir los equipos y materiales a utilizarse basados a las normas vigentes aplicables con sus respectivos criterios de aceptación y rechazo.

En el último capítulo se dan a conocer los resultados de la investigación en el que se muestra un resumen de los metros de soldadura en los cuales se aplicaron los ensayos no destructivos, además del análisis de causas de las diferentes discontinuidades con las posibles soluciones para minimizarlas y la comparación del costo por metro de la aplicación de los diferentes ensayos no destructivos entre diferentes empresas de Guayaquil.

Se realizan diferentes recomendaciones para la minimización de discontinuidades ayudando en la optimización de los tiempos de entrega del producto y costos de reparación. Garantizando la calidad de los productos entregados al cliente y reflejándose esto en la satisfacción del mismo.

## **Capítulo 1**

### **Problema**

#### **1.1. Antecedentes**

El presente trabajo fue realizado en la ciudad de Guayaquil durante la prestación de servicios entre la empresa OBRAPLANFIS S.A. dedicada a la realización de obras y proyectos en ensayos no destructivos y una empresa de la industria metalmecánica.

Obraplanfis S.A. es una empresa fundada el 18 de Octubre del 2013, de acuerdo a la clasificación nacional de las actividades económicas en el Ecuador las actividades de esta empresa se encuentran dentro de la sección M referente a actividades profesionales científicas y técnicas específicamente en la sección M7120.11 debido a que la actividad principal es la inspección de equipos y materiales mediante la aplicación de ensayos no destructivos (END). Su misión es brindar un servicio de calidad de acuerdo a los códigos y normas internacionales vigentes relacionadas a su principal actividad por lo que cuenta con las certificaciones y documentación correspondiente para ejercer la misma.

En el tiempo que la empresa tiene en el mercado ha logrado ser reconocida por la calidad de su trabajo motivo por el cual su misión es convertirse en una empresa de servicios técnicos reconocida y competitiva en el país por lo que brinda a sus clientes seguridad y confianza a través de la actualización constante de sus conocimientos y la certificación con entidades autorizadas y reconocidas.

El cliente es una empresa de la industria metalmecánica dedicada a construcción de distintas estructuras para sectores como la construcción, minería, energía y puertos que actualmente se encuentra fabricando una tubería para un proyecto Hidroeléctrico en la Provincia de Morona Santiago.

El proyecto consiste en la fabricación de una tubería completa con dimensiones totales 3600 metros de longitud por 3 metros de diámetro en acero A 572 Gr 50 de espesores que oscilan entre los 12mm y 100mm, la tubería debe ser entregada lista para el montaje, debido a que la fabricación de la misma se realiza en Guayaquil y debe ser transportada hasta la provincia de Morona Santiago se la ha dividido en 500 secciones con medidas diámetro exterior 3000mm.x12000mm y espesores variantes mismos que son fabricados en dos grupos.

Cada sección o tubo se encuentra conformados por cuatro “virolas” unidas mediante soldadura automática de arco eléctrico circunferencial SAW al igual que cada virola,

conformada por una lámina de acero rolada y unida longitudinalmente por el mismo proceso de soldadura.

El primer grupo de 300 tubos fueron fabricados en un período de siete meses, luego de esto se realizó una pausa de dos meses y se dio inicio a la fabricación de los 200 restantes en un período de cuatro meses. Las secciones de tubería fueron entregadas de manera parcial en el lugar del montaje.

Debido a que se necesita garantizar la calidad del producto, evitar retrasos en la producción, el montaje y reducir los costos por las reparaciones, el cliente ha decidido que se realicen ensayos no destructivos (END) al cordón de soldadura de las virolas y del tubo conformado del primer grupo de tubos a ser fabricado.

Para la realización de los END contrata a la empresa Obraplanfis S.A. de la ciudad de Guayaquil dedicada a la realización de obras y proyectos en ensayos no destructivos. OBRAPLANFIS S.A. realizara los END aplicando los métodos de inspección visual, Ultrasonido Phased Array, Radiografía y Tintas Penetrantes a las virolas y los tubos conformados para determinar las discontinuidades y defectos más comunes y poder evaluar las medidas de solución apropiadas.

## **1.2. Importancia y alcance**

El ser reconocido en el mercado local por la calidad de su trabajo y su honestidad hace que el principal objetivo de Obraplanfis S.A. sea la satisfacción de sus clientes, la empresa de la industria metalmecánica para la cual se encuentra prestando servicios es uno de sus clientes más importantes ya que la misma representa el 40% en facturación de los ingresos totales.

Para el cliente es importante garantizar la calidad de sus productos y más aún al encontrarse participando en un proyecto importante como lo es la fabricación de una tubería para la construcción de una Hidroeléctrica, por lo expuesto ha decidido priorizar la calidad de la tubería que fabrica para evitar problemas futuros en el montaje por deficiencia en la calidad del producto.

La deficiencia en la calidad de la tubería no solo genera retrasos e inconvenientes al momento de cumplir con los plazos establecido de entrega y el montaje, sino también retrasos debido a las reparaciones que deben realizarse a cada una de las secciones de la tuberías teniendo estas un costo aproximado mensual de \$840.08 en horas máquina y \$2388.65 en horas hombre.

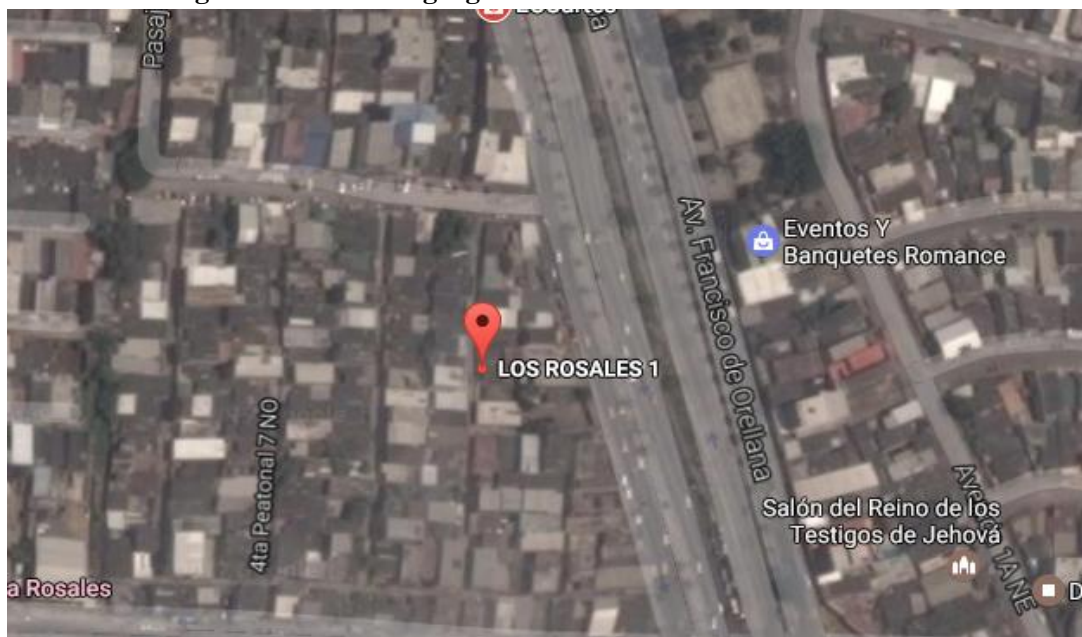
El presente busca realizar una recopilación de la información obtenida a través de la aplicación de ensayos no destructivos que permita realizar un análisis para determinar las causas raíces de los discontinuidades que se detecten en los cordones de soldadura de las secciones de la tubería para que estos sean reparados y cumplan con los parámetros de calidad.

La evaluación de las causas raíz permitirá informar al cliente los fallos más comunes que se presentan y sugerirle las posibles soluciones para que se reduzca al mínimo la aparición de los mismos evitando así retrasos en la producción de la tubería y la reducción los costos que generan las mismas.

### 1.3. Delimitación

Obraplanfis S.A. cuya principal actividad es la prestación de servicios para la realización de ensayos no destructivos se encuentra radicada en la ciudad de Guayaquil en la Ciudadela Los Rosales Sl. 1 Mz.F1. por lo que oferta sus servicios en esta misma ciudad a diversas empresas que los requieren.

**Figura 1. Ubicación geográfica de OBRAPLANFIS S.A.**



**Fuente: Google maps**

Debido a que la prestación de servicios es la inspección de una tubería mediante la aplicación de END esta se llevara a cabo en las instalaciones de la planta metalmecánica propiedad del cliente, ubicada en la Lotización Industrial Pascuales km 16.5 de la Vía a Daule donde se realiza la fabricación de la tubería.

**Figura 2. Ubicación geográfica de la Planta Metalmecánica donde se realizarán los END.**



**Fuente: Google maps**

La aplicación de los ensayos no destructivos se realizará durante un periodo aproximado de 7 meses para poder recopilar información suficiente que permita realizar un diagnóstico para la realización del presente trabajo.

#### **1.4. Objetivo general**

Detectar las posibles discontinuidades a encontrarse en un cordón de soldadura en la fabricación de tuberías, por método de ultrasonido.

#### **1.5. Objetivos específicos**

- Evaluar la aplicación de ensayo no destructivo por método de ultrasonido en cordón de soldadura de tubería.
- Evaluar las discontinuidades detectadas para determinar cuáles son los más comunes.
- Determinar las causas raíces que provocan la aparición de las discontinuidades más comunes.
- Proponer soluciones sugeridas para evitar que se presenten discontinuidades comunes en la producción de la tubería a la empresa contratante del servicio.
- Evaluar y comparar la efectividad de la aplicación de otros métodos de ensayos no destructivos (inspección visual y radiografía industrial) con el método de ultrasonido.

- Evaluar y comparar los costos de otros métodos de ensayos no destructivos en con el método de ultrasonido.



## Capítulo 2

### Marco teórico

#### 2.1. Soldadura

La soldadura es uno de los procesos económicos, seguros, eficientes y confiables más utilizado en la gran y pequeña industria para la fabricación y construcción de diversos productos, siempre que se apliquen los métodos y procedimientos adecuados se puede soldar cualquier metal así mismo se pueden aplicar procesos de soldadura para la unión de materiales termoplásticos. (Sánchez García, 2013)

Se define a la soldadura como el proceso mediante el cual dos o más piezas metálicas de características físicas iguales o similares y de composición química compatible son unidas de manera permanente por la aplicación de presión, con el uso de algún material de aporte o sin la aplicación de estos. La unión se produce al elevar la temperatura de las piezas hasta su punto de fusión permitiendo que estas se mezclen y al enfriarse formen una sola masa. (Falcón Vázquez, 2016) (Astorga Sánchez, 2013)

**Figura 3. Soldadura**



Fuente: <http://icha.cl/soldadura-y-corte-industrial-el-buen-uso-de-las-tecnicas/>

Los procedimientos para la soldadura de metales suelen ser clasificados en soldaduras heterogéneas y soldaduras homogéneas, siendo estas últimas aquellas en las cuales el material soldado como el material de aporte tiene la misma naturaleza a diferencia de la soldadura heterogénea en la cual se sueldan materiales de distinta naturaleza con material de aporte, también pueden ser consideradas heterogéneas cuando los materiales a soldar son iguales pero en el material de aporte es de distinta naturaleza. (Oropeza Serrano, 2015)

## **2.2. Procesos de Soldadura**

En la actualidad los procesos de soldadura que han sido desarrollados hasta ahora son distintos tanto en los equipos que se utilizan como en la forma que se aplica el calor. (Falcón Vázquez, 2016) De acuerdo a la AWS se han clasificado en siete grupos a los procesos de soldadura los cuales son: (Tapia Moreno, 2013)

- Arc Welding (AW)
- Soldering (S)
- Oxyfuel Gas Welding (OGW)
- Brazing (B)
- Resistance Welding (RW)
- Solid State Welding (SSW)
- Other Welding and Joining

Como fue mencionado en los antecedentes para este caso de estudio el proceso de unión de la tubería se realiza mediante soldadura automática de arco eléctrico, este proceso produce la coalescencia de las piezas al entrar en contacto con el calor producido en el arco formado por una descarga eléctrica entre dos conductores de polaridad distinta los cuales son el electrodo y la pieza a unirse. (Falcón Vázquez, 2016) (Torres Solano, 2013) Debido a su bajo costo y su fácil aplicación en comparación a otros métodos de soldadura es el más utilizado, es un método muy versátil ya que no solo se aplica en ambientes industriales sino también al aire libre, bajo el agua y en el espacio. (Hernández Castro, 2013)

Existen varios procesos de soldadura por arco eléctrico entre los que se encuentran los siguientes: (Oropeza Serrano, 2015) (Tapia Moreno, 2013)

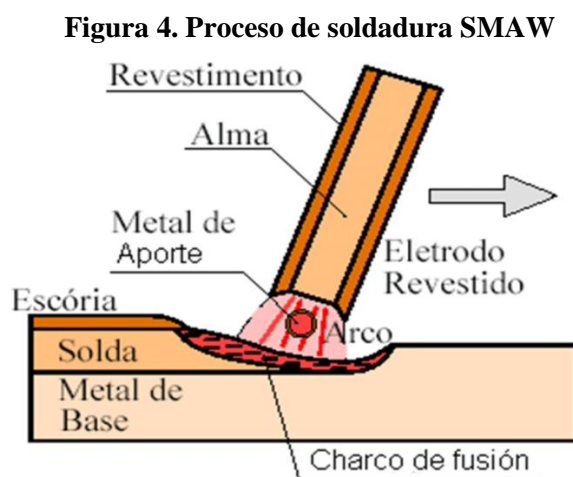
- FCAW – Soldadura de arco con núcleo de fundente
- GMAW – Soldadura por arco metálico con gas protector
- GTAW - Soldadura de Arco Gas Tungsteno
- SMAW – Soldadura manual de metal
- SAW – Soldadura de arco sumergido

El proceso específico que se utiliza en las tuberías del caso de estudio es la soldadura de arco sumergido (SAW) la cual se realiza de forma longitudinal a las virolas y circunferencial para la conformación del tubo, a continuación se describen brevemente cada uno de los procesos de soldadura por arco eléctrico.

### 2.2.1. Proceso de Soldadura SMAW

El proceso de soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW por sus siglas en inglés y a menudo llamada soldadura de palillo es uno de los más utilizados en especial para la fabricación de las estructuras de acero, ya que es versátil, simple, durable y de bajo costo.

La técnica que utiliza este proceso es la fundición de metales al someterlos a temperaturas aproximadas de  $5000^{\circ}\text{C}$  con la ayuda del arco formado por el metal base o la pieza a soldar y el material de aporte que en este caso es un electrodo revestido compuesto por un núcleo metálico conductor de corriente y su revestimiento que es una capa de polvos aglomerados no conductores. (Hernández Castro, 2013) (ALVARADO CAMARILLO, 2014)



Fuente: <http://instructorjrp.blogspot.com/2011/11/proceso-de-soldadura-smaw.html>

### 2.2.2. Proceso de soldadura GMAW (MIG/MAG)

El proceso de soldadura por arco metálico con gas protector GMAW (MIG MAG) por sus siglas en inglés y conocido también como soldadura por arco semiautomático, es un proceso de corriente directa con polaridad invertida en el cual los metales se funden con el calor generado por el arco eléctrico formado entre el electrodo que es un alambre protegido de manera externa con la ayuda de un gas y el metal o piezas a unirse.

El proceso se conoce como semiautomático debido a que el alambre fluye de manera continua porque es alimentado automáticamente a velocidad constante mientras se realiza la soldadura, la función del gas es proteger la soldadura de la atmosfera evitando la oxidación del material soldado por lo que el gas utilizado depende del material a soldarse.

Este proceso puede ser aplicado para soldar en todas las posiciones o solo para soldar en posición plana, si se suelda en todas las posiciones se realiza utilizando una pistola la cual se mueve manualmente y en caso de la soldadura plana esta se realiza de forma automática. (Arboleda Lagos, 2016) (Santillán Díaz, 2013)

**Figura 5. Proceso de soldadura GMAW o MIG/MAG**



Fuente: [https://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla\\_id=80](https://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=80)

### 2.2.3. Proceso de soldadura FCAW

El proceso de soldadura semiautomática con alambre tubular FCAW por sus siglas en inglés, también conocido como soldadura tubular o soldadura semiautomática (Torres Solano, 2013), principalmente utilizado para soldar acero al carbono de baja aleación y aceros inoxidable. Este proceso de soldadura es muy similar al GMAW (MIG-MAG) de este proceso hay dos variantes en el interior del electrodo que son protección adicional con gas y autoprotegido.

Las variantes de este proceso influyen directamente en la extensión del alambre, si se utiliza electrodo autoprotegido se debe soldar con largas extensiones de electrodos a diferencia de la protección adicional con gas el electrodo se precalienta antes de ser utilizado lo que permite mayor velocidad de aportación. (Torres Solano, 2013) (Hernández Castro, 2013)

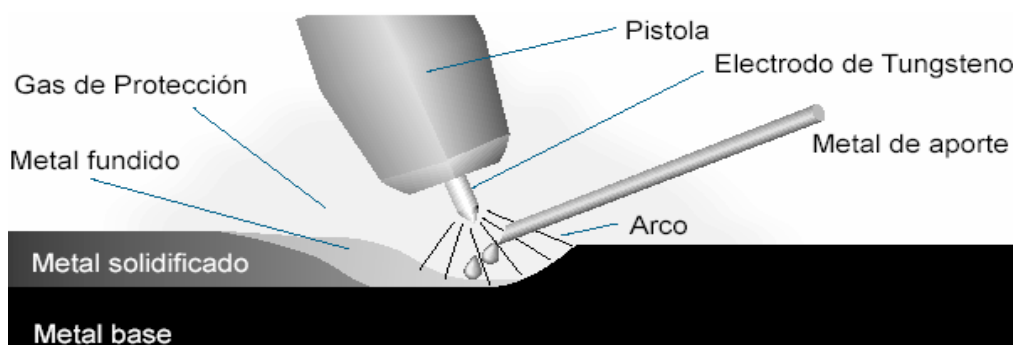
**Figura 6. Proceso de Soldadura FCAW**

Fuente: <http://soldadurayestructuras.com/proceso-fcaw.html>

#### 2.2.4. Proceso de soldadura GTAW (TIG)

El proceso de Soldadura de Arco Gas Tungsteno GTAW (TIG) por sus siglas en inglés, es un proceso en el cual se utiliza un electrodo de tungsteno y gas protector, generalmente argón, helio o una mezcla de ambos, los cuales al entrar en contacto con el metal forman el arco que calienta y funde las piezas. Este proceso se puede realizar de manera manual, automática o semiautomática.

A diferencia de los procesos de soldadura GMAW (MIG MAG) y FCAW con este proceso se puede obtener mayor penetración y soldar a mayor velocidad debido a la alta densidad de corriente producida en este proceso, permitiendo la obtención de soldaduras de calidad excepcional. (Arboleda Lagos, 2016) (Santillán Díaz, 2013)

**Figura 7. Proceso de soldadura GTAW (TIG)**

Fuente: <http://soldadurayestructuras.com/proceso-fcaw.html>

### 2.2.5. Proceso de soldadura SAW

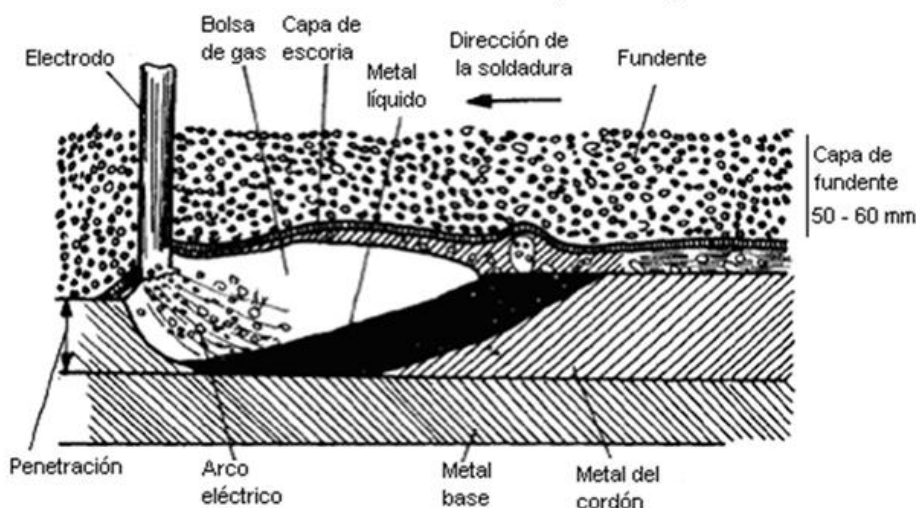
El proceso de Soldadura de arco sumergido SAW por sus siglas en inglés, es un proceso que se puede realizar de forma semiautomática y automática permitiendo grandes avances en la producción y el control de calidad de la soldadura en línea recta. Este proceso suele aplicarse comúnmente para las soldaduras de filete.

Para la aplicación de este proceso se utiliza un electrodo desnudo (alambre) alimentado de manera constante protegido por un fundente granular conductor de alta resistencia suministrado de manera independiente los cuales al entrar en contacto con la pieza a soldar producen el arco.

En este proceso el arco no es visible debido a la cantidad de fundente que cubre el electrodo y la pieza a soldar, de allí viene la denominación “arco sumergido”. Dependiendo del metal a soldarse varía la composición química del fundente a utilizar, debido a esto por medio de este método se pueden soldar gran variedad de metales y aleaciones en varios tipos de juntas.

La apariencia de las juntas por arco sumergido se distinguen por su apariencia limpia presentando contornos lisos, por lo que es utilizada principalmente en instalaciones totalmente automatizadas para la construcción y reparación en la industria naval, química y estructuras metálicas pesadas. (Hernández Castro, 2013) (Arboleda Lagos, 2016)

**Figura 8. Proceso de soldadura SAW**

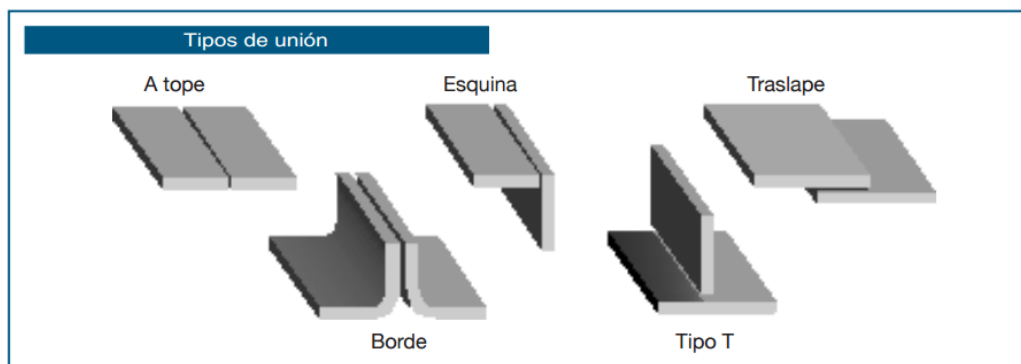


Fuente: <http://www.juventudrebelde.cu/multimedia/fotografia/generales/esquema-del-proceso-de-soldadura-saw/>

### 2.3. Tipos de Juntas

Se define a la junta como la unión de los extremos de las piezas a ser soldadas, y se conocen cinco tipos de juntas entre los que se encuentran las ilustradas en la figura 9.

Figura 9. Esquema básico de los tipos de juntas



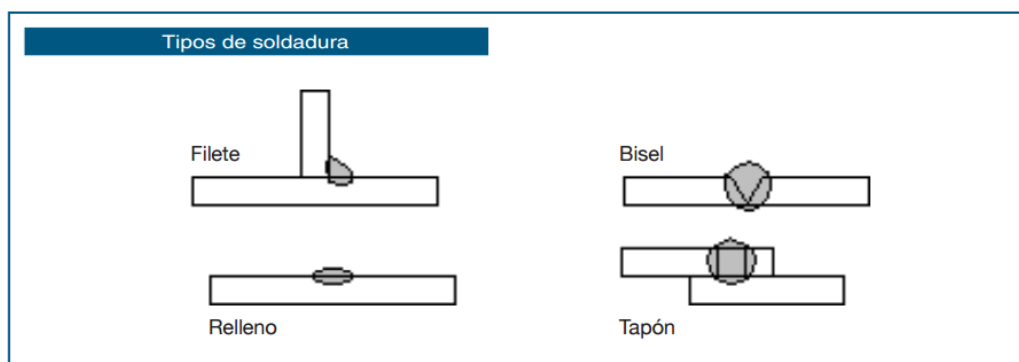
Fuente: Manual de Soldadura de Indura

Adicional a estas existen algunas variantes a los tipos de juntas descritos como las juntas empalmadas a tope y las juntas abocinadas o de pestaña. Los términos que designan cada uno de los tipos de juntas así como sus significados se describen en las normas correspondientes. (Arboleda Lagos, 2016) (Hidalgo Ortiz F. E., 2014)

### 2.4. Tipos de Soldaduras

Los cordones de soldadura pueden ser clasificados de acuerdo a la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo, posición del cordón de soldadura durante la operación a soldar y de acuerdo a su posición geométrica. (Hidalgo Ortiz F. E., 2014)

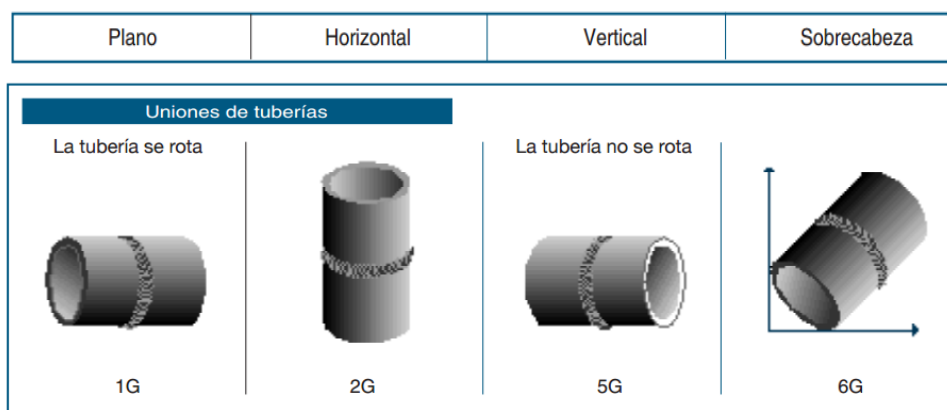
De acuerdo a la posición geométrica existen cuatro tipos de soldadura los cuales son soldadura de filete, soldadura de ranura, soldadura de tapón y la soldadura de cordón, en la figura 10 se puede observar el esquema básico de los tipos de soldadura. (Santillán Díaz, 2013)

**Figura 10. Esquema básico de los tipos de soldadura**

Fuente: Manual de Soldadura de Indura

## 2.5. Posiciones para la aplicación de soldadura para tubería

La ejecución de los cordones de soldadura se puede realizar en diversas posiciones las cuales son posición plana, posición vertical, posición horizontal, posición sobre cabeza. En la figura 11 se muestran las posiciones para la unión de tuberías. (Santillán Díaz, 2013)

**Figura 11. Posiciones en soldadura para uniones de tuberías**

Fuente: Manual de Soldadura de Indura

## 2.6. Normas aplicables: Código ASME sección V

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) por sus siglas en inglés es una organización que desarrolla códigos y estándares aceptados mundialmente. El código ASME se encuentra dividido en doce secciones en las cuales se detallan los parámetros para el diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos y materiales. (Zamora Carranza, 2015) (Martínez Santaolalla, 2015)



Para interpretar el código ASME se deben considerar 3 niveles dentro de las secciones, el primer nivel comprende las secciones generales, dentro del segundo nivel se encuentran secciones específicas que complementan las secciones generales y el tercer nivel corresponde a las Normas y Guías Americanas.

La sección V del código ASME referente a los ensayos no destructivos pertenece al segundo nivel del código por lo que es una de las secciones de apoyo para las secciones generales. (Martínez Santaolalla, 2015) En esta sección se establecen los requerimientos para la inspección mediante la aplicación de ensayos no destructivos, de acuerdo a esta sección los métodos aceptables son la inspección con ultrasonido, radiografía, partículas magnéticas y líquidos penetrantes. (Dávila Ortiz, 2017)

## **2.7. Ensayos no destructivos**

En la actualidad y debido a la presencia de defectos en los materiales o productos la industria debe aplicar métodos de control para determinar la calidad de sus productos es así como los ensayos no destructivos son los métodos más utilizados en la industria metalmecánica para la realización de inspecciones que permitan garantizar la calidad de los productos esto debido a sus bajos costos ya que cumplen principios físicos no destructivos como lo indica su nombre y a su vez son utilizados gran parte de las actividades de industrias como la automotriz, aeroespacial, construcción, manufactura, ingeniería nuclear, petroquímica entre otras.

Este tipo de ensayos pueden aplicarse en cualquier parte del proceso productivo desde la inspección de las propiedades físicas y químicas de las materias primas así como también durante la fabricación para detectar defectos y discontinuidades con la finalidad de que estos sean corregidos y reparados para al momento de inspección final evitar retrasos en el procesos productivos debido al reproceso de los materiales por deficiencia en su calidad.

Los ensayos no destructivos se definen como la aplicación de métodos físicos indirectos con el fin de verificar la homogeneidad de las piezas examinadas sin alterar sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. (Dávila Ortiz, 2017)

Este tipo ensayos se caracterizan por detectar defectos sin perturbar la estructura de los materiales ya que cubre áreas como la caracterización de los materiales de acuerdo a sus propiedades, la metrología que es el control de espesores y la defectología encargada de la identificación de discontinuidades (Pérez Paredes, 2015) esta última utiliza técnicas como la digitalización de imágenes, radiografía por neutrones, electromagnetismo o emisión acústica. (de los Ríos, 2015)

Para la inspección de materiales metálicos y no metálicos se puede recurrir a la aplicación de END, normalmente estos ensayos son aplicados durante los procesos de fabricación y realizados siguiendo las principales normas o códigos para la fabricación de los productos. En comparación con los ensayos destructivos los END resultan más económicos debido que no implican la destrucción de las piezas examinada. (Falcón Vázquez, 2016)

### **2.7.1. Ventajas**

- Todas la técnicas de ensayos no destructivos son fáciles y rápidas aplicar, la mayoría de ellas no ocasionan paras en los procesos productivos para su aplicación.
- Garantizan la calidad de los productos ya que pueden ser aplicadas desde el inicio hasta el fin proceso productivo controlando los inconvenientes que puedan presentarse por defectos o discontinuidades.
- Resultan económicas y rentables porque al ser basada en principios físicos no invasivos su aplicación no altera ninguna de las propiedades físicas, químicas o mecánicas de los materiales.

### **2.7.2. Desventajas**

- Para la aplicación de la mayoría de los END es necesario contar con personal altamente capacitado y de vasta experiencia en el campo para una correcta interpretación de los resultados.
- Es necesario contar con procedimientos de inspección calificados para tener patrones de referencia no solo para la calibración de los equipos sino también para la interpretación de los resultados.
- Los ensayos de inspección volumétricos suelen tener limitaciones en la detección de defectos o discontinuidades que se encuentren en la zona conocida campo muerto (ultrasonido) o penumbra (radiografía) que hace referencia a sectores cercanos a la superficie.

## **2.8. Clasificación de los ensayos no destructivos**

Es necesario definir en qué campo de aplicación se enfocan los END y de acuerdo a esto se pueden clasificar:

- Según su tipo de fenómeno físico
- Según sus aplicaciones
- Según el estado actual de desarrollo
- Según las técnicas de inspección que se utilicen

Esta última comprende tres grupos ya que las inspecciones pueden ser superficiales, volumétricas o de hermeticidad. Para comprender mejor a continuación se detallan que ensayos pertenecen a cada división. (Sánchez García, 2013)

## **2.9. Técnicas de inspección superficial**

### **2.9.1. Inspección visual (VT)**

La inspección visual es uno de los primeros END en utilizarse por ser el más económico y simple, pero para su aplicación requiere un profesional altamente calificado y con amplia experiencia ya que consiste en la detección de fallas de manera superficial a través de la inspección a través del ojo humano con la ayuda de buena iluminación e instrumentos o herramientas ópticas y mecánicas como lupas o galgas. (PÉREZ, 2013) (González, 2013)

**Figura 12. Inspección visual con ayuda de elementos ópticos**



Fuente: <http://www.audisend.com.ar/servicios/inspeccion-visual/>

Para la realización de este ensayo y de acuerdo al código ASME Sección V es necesario cumplir con requisitos específicos como:

- Un procedimiento escrito que demuestre ser el más adecuado para la aplicación de la inspección.
- Para la realización de la inspección el personal debe realizarse exámenes de visión cada año.

- Se deben utilizar elementos auxiliares y una iluminación mínima para realizar la inspección visual directa.
- Al momento de realizar una inspección visual indirecta se requiere una distancia de 150mm hasta 600mm desde el ojo hasta la superficie a inspeccionar y el ángulo no debe ser menos a 30°.

Debido a que los defectos se pueden presentar en cualquier etapa del proceso productivo este ensayo consta de tres etapas para garantizar una buena inspección visual. Las etapas de este ensayo son la inspección antes durante y después de soldar lo cual se muestra como una ventaja ya que permite corregir a tiempo las discontinuidades para que estas no se conviertan en defectos. Otra de las ventajas de este proceso es el corto tiempo que toma realizar la inspección y lo económica que resulta su aplicación al utilizar herramientas pequeñas y de bajo costo en comparación con otros END. (Zambrano Flores, 2015)

### **2.9.2. Líquidos penetrantes (PT)**

Este ensayo es uno de los más utilizados ya que tiene como objetivo principal detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales. (Naranjo, 2014) y se basa en la capacidad de penetración de un líquido para lo cual emplea agentes penetrantes de aplicación directa sobre la superficie del material que permiten tener visibilidad de las fallas presentes. (PÉREZ, 2013)

Existen 18 variantes de inspección al momento de emplear este método ya que cada una de estas variantes ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Este ensayo es muy sensible y solo aplicable a las discontinuidades superficiales, entre los materiales a los que puede ser aplicado se encuentran materiales metálicos, cerámicos vidriados, plástico y recubrimientos electroquímicos. (González, 2013)

Existen seis tipos de penetrantes utilizados para la inspección mediante la aplicación del método de líquidos penetrantes pueden ser penetrantes visibles removibles con agua, solvente o post-emulsificador y penetrantes fluorescentes removibles con agua, solvente o post-emulsificador, la diferencia entre los penetrantes visibles y los penetrantes fluorescentes es que los primeros pueden observarse con luz natural y los fluorescentes solo son visibles si se aplica luz ultravioleta.

**Figura 13. Inspección de probeta mediante aplicación de líquidos penetrantes visibles.**



Fuente: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAerx8AF/ensaios-destrutivos-nao-destrutivos-aula-16-ensaio-liquido-penetrante>

Este método posee múltiples ventajas entre las que se destacan su fácil aplicación y remoción, sensibilidad para detectar discontinuidades superficiales, el entrenamiento que requiere el personal no toma mucho tiempo pero aunque parezca contradictorio una de las limitantes de esta técnica es sus resultados solo pueden ser interpretados por personal que tenga amplia experiencia, además del tiempo que toma su aplicación en comparación con otros END que no puede ser aplicado en materiales porosos (Zambrano Flores, 2015).

### **2.9.3. Partículas Magnéticas (MT)**

El ensayo no destructivo mediante la aplicación del método de partículas magnéticas detecta defectos superficiales y subsuperficiales con la restricción de que solo puede aplicarse en materiales como el hierro o el acero por ser ferromagnéticos, a diferencia de materiales no ferrosos como el aluminio, cobre, magnesio, plomo, titanio y aceros inoxidables que no poseen esta propiedad.

La propiedad ferromagnética es necesaria ya que este ensayo emplea la corriente eléctrica para magnetizar la pieza. (González, 2013), en caso de existir discontinuidades estas producirán alteraciones en el campo magnético de la pieza las cuales son detectadas debido a que las partículas magnéticas colocadas en la superficie de la pieza se agrupan en las fugas de las discontinuidades por la formación de nuevos polos magnéticos provocados por la misma discontinuidad del material. (PÉREZ, 2013)

**Figura 14. Inspección de probeta mediante la aplicación de partículas magnéticas**



Fuente: [http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed\\_166.php](http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_166.php)

## **2.10. Técnicas de inspección volumétrica**

### **2.10.1. Radiografía Industrial (RT)**

Una de las técnicas más ampliamente utilizadas dentro del ámbito del control de calidad de componentes y soldaduras es la radiografía, sin embargo una de las desventajas de esta técnica es cuando se tienen que radiografiar grandes tramos de soldadura en la cual es complicado realizar una sola exposición y se ve forzado entonces a realizar múltiples exposiciones lo que requiere mayor demanda de tiempo y mayor exposición del personal a las radiaciones. (Saldaña Bobadilla, 2014)

La radiografía industrial es un método no destructivo que emplea rayos x y rayos gama basado en los cuales que penetran la pieza inspeccionada para la detección de discontinuidades superficiales e internas de los materiales.

La radiografía es un ensayo no destructivo, basado en la absorción de radiación diferenciada penetrante en la pieza que está siendo inspeccionada. La variación de radiación absorbida, muestra o detecta la existencia de alguna falla interna o defecto del material.

La radiografía industrial es utilizada para detectar variaciones en una región de un material determinado. Presentando una diferencia en espesor o densidad en comparación a un región vecina.

El fin de este ensayo o sistema de inspección es detectar con alta densidad los defectos volumétricos. Siendo una técnica esencial para verificar la validez de la soldadura.

Los objetivos de este ensayo son:

- Aportar información sobre el estado de la soldadura.
- Distinguir los defectos detectables mediante radiografía e identificarlos.
- Conocer y tener los criterios fundamentales para valorar la calidad de la soldadura y calificarla de acuerdo a la radiografía. (Carmona Villegas, 2013)

Para la inspección aplicando el método de radiografía industrial es necesario contar con personal altamente capacitado y entrenado en la manipulación de elementos radioactivos. (PÉREZ, 2013)

Las ventajas de la radiográfica son las siguientes:

- La radiografía puede ser utilizada en muchos materiales.
- La radiografía puede ser utilizada para proporcionar un registro visual permanente del objeto de prueba en la película o registro digital para mostrarse posteriormente en una computadora o monitor.
- La radiografía puede revelar algunas discontinuidades en un material.
- La radiografía da a conocer errores de fabricación y con frecuencia indica la necesidad de la acción correctiva.

Las desventajas de la radiográfica son las siguientes:

- Las limitaciones físicas y económicas.
- Se deben seguir siempre procedimientos de seguridad en radiación.
- La accesibilidad puede ser limitada. El radiólogo debe tener acceso a ambas caras del objeto de prueba.
- Las discontinuidades que no son paralelas con el haz de radiación son difíciles de localizar.
- La radiografía es un método de prueba caro.
- La radiografía de película es un método de prueba que demanda mucho tiempo. Después de tomar la radiografía, la película debe ser procesada, secada e interpretada.
- Algunas discontinuidades superficiales pueden ser difíciles, o imposibles de detectar. (Testing, 2011)

### **2.10.2. Ultrasonido (UT)**

El ultrasonido es una técnica conocida desde la década de los ochentas muy versátil debido a su aplicación no solo en el campo industrial sino también en áreas como la medicina, comunicaciones, pesca, navegación, aeronáutica entre otras.

El ensayo por ultrasonidos, tal y como se utiliza en el control de calidad industrial, se basa en la aplicación de ondas elásticas en forma de impulsos que se propagan a través del material que se ensaya.

La denominación de ultrasonidos indica que son ondas del mismo tipo que los sonidos audibles pero cuya frecuencia está más allá de las posibilidades de audición del oído humano. Las frecuencias audibles están aproximadamente entre los 20 Hz y los 20 KHz y en el ensayo que nos ocupa, se utilizan frecuencias que oscilan entre los 15 y los 20MHz.

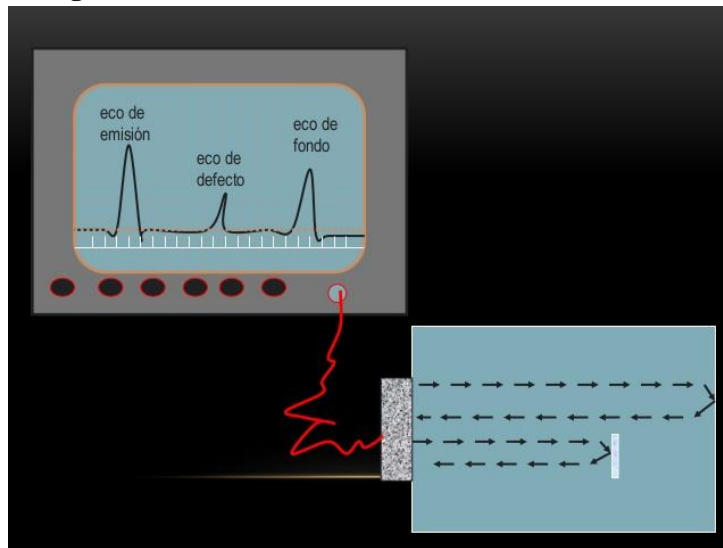
Las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas que consisten en vibraciones oscilatorias de partículas atómicas o moleculares de una sustancia, son ondas elásticas, es decir, ondas que necesitan un medio material para propagarse como puede ser las generadas por la vibración de la cuerda de una guitarra, y que se propagan a través del aire, un medio material. En el vacío la cuerda también vibraría pero no la podríamos oír.

Los métodos ultrasónicos para realizar ensayos no destructivos se han utilizado extensamente en la inspección de soldadura; sin embargo, la variada defectología, su búsqueda e interpretación, a menudo es altamente dependiente de factores subjetivos tales como: la fatiga visual, el estado de ánimo y cansancio físico del evaluador, lo que repercute en la calidad de la inspección.

La inspección por ultrasonido consiste en utilizar vibración mecánica, similar a las del sonido pero con una mayor frecuencia. Esta es dirigida a la muestra a ser ensayada, perdiendo muy poco su intensidad de vibración, exceptuando cuando se encuentra con alguna discontinuidad, generando un gráfico. (Carmona Villegas, 2013)



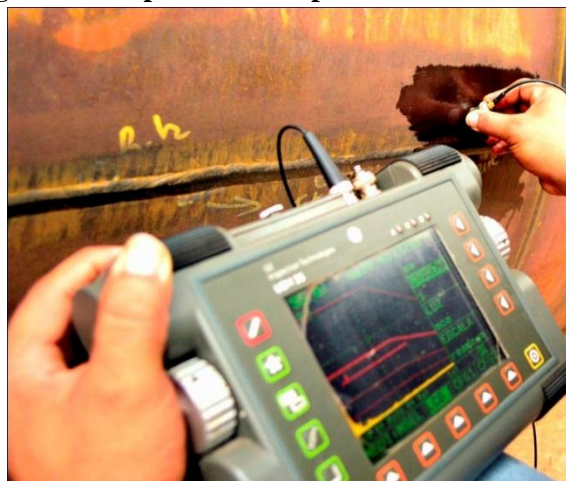
**Figura 15. Gráfico de discontinuidad en Ultrasonido**



Fuente: <https://es.slideshare.net/juansebastiantb/ensayos-no-destructivos-metodo-radiografico-y-ultrasonido>

En el ámbito industrial el ultrasonido es utilizado para la realización de ensayos no destructivos que permiten realizar controles de calidad, mantenimientos preventivos y estudios de integridad estructural. Para su como método de ensayo no destructivo en la detección de discontinuidades su funcionamiento se basa en la medición de las ondas propagadas en la pieza a inspeccionar la cuales son reflejadas por las discontinuidades o defectos presentes. (Rivera, 2014)

**Figura 16. Inspección con aplicación de Ultrasonido**



Fuente: <http://www.australsrl.com/servicios/ultrasonido/>

Las ondas sonoras son fenómenos vibratorios transmitidos a través de un medio elástico, que reflejan el sonido por medio de interfaces propagándolo en el material de modo que este se refleja en caso de encontrar algún defecto superficial, subsuperficial o interno de la pieza analizada. (de los Ríos, 2015)

Al ser un fenómeno ondulatorio, las ondas de ultrasonido se caracterizan por su:

- Frecuencia (f)

Número de oscilaciones efectuadas por unidad de tiempo.

- Periodo (T)

Tiempo que dura una oscilación completa. Está relacionado con la frecuencia de la siguiente manera:

$$T = \frac{1}{f}$$

T = Periodo (s)

f= frecuencia (Hz)

- Longitud de onda ( $\lambda$ )

Distancia entre dos partículas en el mismo estado de vibración (mm). Es inversamente proporcional a la frecuencia. El tamaño del reflector más pequeño detectable es ( $\lambda/2$ ), si bien este valor debe ser considerado como el límite inferior teórico.

- Velocidad de propagación (v)

Es el espacio recorrido por el sonido en la unidad de tiempo. La velocidad de propagación es una característica del medio en el que se propagan los ultrasonidos. La velocidad de propagación aumenta si aumenta la densidad. Frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación están relacionadas mediante la siguiente ecuación:

$$v = \lambda * f$$

v= velocidad (m/s o mm/s)

$\lambda$ =longitud de onda (m o mm)

- Amplitud (A)

Se trata de la amplitud de la señal, medida normalmente como valor pico a pico. La energía transmitida es proporcional a la amplitud (mm).

- Fase ( $\theta$ )

Es una medida relativa entre dos señales que indica el momento relativo de inicio entre ellas, y por tanto el tiempo o distancia entre dos puntos en igual situación de vibración. Se mide en grados o radianes y varía entre  $0^\circ$  (sin desfase) y  $360^\circ$ . (García Dorado, 2016)

### **2.10.3. Técnica de ultrasonido convencional (UT)**

En las inspecciones por ultrasonido convencional el haz ultrasónico sale desde el transductor para viajar en un ángulo generado por la zapata, esta onda transversal llega hasta la pieza a la cual se está aplicando el ensayo y esta se refleja en el mismo ángulo por la ley de difracción hasta llegar al cordón de soldadura.

Un transductor ultrasónico (o palpador) es un dispositivo capaz de transformar energía eléctrica en acústica y viceversa. Constituye por tanto, una pieza central para la transmisión y recepción de la energía ultrasónica, además de funcionar a modo de intermediario entre el material bajo inspección y la electrónica involucrada.

Ahora bien; la forma y amplitud del impulso acústico transmitido desde el transductor, dependen de los parámetros responsables de la configuración del pulso de excitación; así por ejemplo, el factor más determinante para lograr alta precisión en la información obtenida es la resolución a lo largo de la profundidad que se explora. Esa resolución puede optimizarse con un diseño definido de los sistemas electrónicos que alimenten al transductor, lo que favorece conseguir de éste, respuestas al impulso muy breves. En otras palabras, se precisan impulsos eléctricos de alto voltaje operando sobre el transductor durante tiempos del orden de los nanosegundos.

El ensayo no destructivo por ultrasonido es utilizado para detectar fallas y discontinuidades en un material, este ensayo consiste en introducir un conjunto de ondas de alta frecuencia a dicho material, estas ondas se propagan a través del material y cuando estas se encuentran con un medio de propagación distinto una parte de estas es reflejada; el grado de reflexión depende en gran parte del estado físico de los materiales que forman la interface, es decir que si el haz ultrasónico pasa de un medio sólido a uno gaseoso la reflexión de este será prácticamente total facilitando la detección de grietas,

laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades; en el caso de que la onda pase de un medio sólido a otro en el mismo estado la reflexión de esta será parcial generando una respuesta de menor energía pero de igual manera detectable. (Jiménez Benítez, 2017)

#### **2.10.4. Técnica de ultrasonido Phased Array (PAUT)**

El Phased Array es una técnica de inspección por ultrasonido computarizada de última generación que deja registro y tiene alta probabilidad de detección, alta precisión en la evaluación de defectos y repetitividad garantizada. Los principios físicos de funcionamiento son similares ultrasonido convencional pulso-eco, con la diferencia que se pueden controlar parámetros mediante software como: Angulo de refracción, punto de salida del haz, enfoque en una zona determinada, entre otros.

En el sentido más básico un arreglo de fases (Phased Array) utiliza los principios físicos de la onda de corte o presión, de tal manera que una serie de pulsos ultrasónicos genera un frente de onda lineal o sectorial, excitando los elementos a diferente tiempo (delay), dichos pulsos ultrasónicos se reflejarán si encuentran un punto o área diferente al material base y serán captados por los elementos en su tiempo de entrada.

Ventajas del ensayo no destructivo por ultrasonido Phased Array

- Velocidad, debido a la capacidad de exploración (lineal, sectorial), aumenta la velocidad del examen y permite un barrido electrónico sin necesidad de mover el palpador de manera ascendente y descendente.
- Registro, ya que permite registrar la inspección en el modo más adecuado para su interpretación y evaluación (S-scan), B-scan, C-scan y otras imágenes 2D y 3D.
- Flexibilidad, ya que realiza una gran variedad de tipos de exploración para la detección de diferentes tipos de defectos o discontinuidades localizados en distintas configuraciones y componentes, me permite una inspección simultánea con múltiples ángulos usando un solo transductor; además me permite controlar las características del haz ultrasónico a través de la configuración de las leyes focales.
- Archivo, ya que me permite generar un registro de la inspección en diferentes formatos obteniendo el 100% de los datos adquiridos de las señales, pudiendo realizar nuevas evaluaciones en el momento que se requiera. (Jiménez Benítez, 2017)

**Tabla 1. Diferencias entre Phased Array y ultrasonido convencional**

<b>Phased Array</b>	<b>Ultrasonido convencional</b>
Utiliza varios elementos piezoeléctricos.	Utiliza un solo elemento piezoeléctrico.
Usa múltiples ángulos de inspección con una sola zapata.	Cada ángulo de inspección requiere una zapata con el ángulo deseado.
Se detectan discontinuidades con barridos electrónicos.	La detección de una discontinuidad se basa en la orientación y manipulación del transductor con la habilidad del especialista.

Fuente: Elaboración propia

### **2.11. Técnicas de Inspección de Hermeticidad**

Las técnicas de inspección de hermeticidad o integridad sirven para comprobar la capacidad de recipientes o componentes que contendrán flujos ya sean líquidos o gaseosos sometidos a presiones iguales, inferiores o superiores a la presión atmosférica. La realización de este ensayo es bajo condiciones controladas. (Sánchez García, 2013)

### **2.12. Defectos y Discontinuidades**

Luego de aplicados los procesos de soldadura para la fabricación de diversos productos es probable que estos presenten algún tipo de imperfección también llamada discontinuidad la cual debe ser examinada pues estas pueden comprometer la estructura, seguridad e integridad de los materiales o equipos por esta razón normas como la ASME definen criterios para la aceptación de las discontinuidades.

Estos criterios para la aceptación de las discontinuidades establecen los tipos, tamaños, números y distribución de las imperfecciones que pueden ser aceptadas, en caso de que estas no cumplan con los parámetros deberán ser reparadas para volver a ser inspeccionadas.

Se deben tener claros dos conceptos muy importantes que son discontinuidad y defectos ya que en muchas ocasiones estos suelen ser confundidos.

### 2.13. Defectos

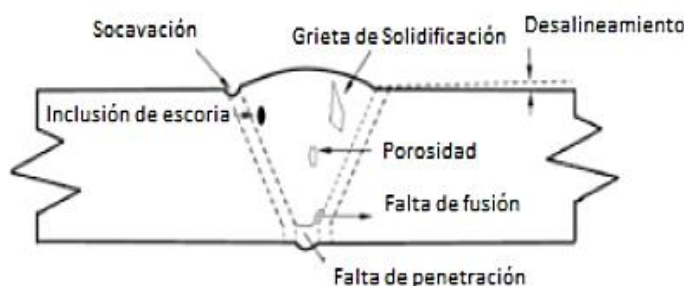
Los defectos son discontinuidades que interfieren directamente con la con la continuidad de la pieza por su magnitud, en la aplicación de los ensayos no destructivos (END) son catalogados como defectos las discontinuidades que exceden los rangos de aceptación establecidos en las normas aplicables. (Sánchez García, 2013) (Falcón Vázquez, 2016) (Astorga Sánchez, 2013)

Una de las diferencias entre las discontinuidades y los defectos es que una soldadura que presente discontinuidades puede ser aceptada si se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma utilizada a diferencia de los defectos los cuales siempre son rechazados ya que no son aceptados por ninguna norma. (Falcón Vázquez, 2016) (Astorga Sánchez, 2013)

Las discontinuidades pueden ser de dos tipos las discontinuidades relevantes que se definen como aquellas discontinuidades que por su tamaño, forma o focalización deben ser interpretadas y evaluadas y las discontinuidades no relevantes que como su nombre mismo lo indica no es necesario que sean evaluadas sino solamente interpretadas.

Generalmente los defectos que se originan en las uniones soldadas son del tipo porosidad, falta de penetración, falta de fusión, inclusión de escoria, socavación y desalineamiento. Sin embargo el tamaño o el grado de intensidad de las diferentes imperfecciones van a depender del proceso de soldadura, la geometría, temperatura, entre otros factores. Todos estos defectos van a variar en diferentes magnitudes que son difíciles de detectar y definir muchas veces sin destruir la junta soldada (de los Ríos, 2015) varias de estos defectos se muestran en la siguiente figura:

**Figura 17. Defectos en uniones de soldadura a tope**



Fuente: Caracterización de discontinuidades típicas en soldadura, utilizando la técnica de Ultrasonido Pulso Eco-Scan A

Cabe destacar que todos los defectos se convierten en concentradores de esfuerzos que ocasionan una disminución de las propiedades de metal. Sin embargo, debido a la complejidad de la geometría resulta muy complicado compararlos con los análisis que se presentan en los estándares de fractura de concentración de esfuerzos para geometrías regulares. (Castro Revelo, 2016)

#### **2.14. Discontinuidad**

En las piezas y elementos soldados es necesario que exista un control y verificación sobre la condición como se realizó dicho proceso. Sin lugar a dudas dentro de la perspectiva de calidad y del mantenimiento preventivo y predictivo es necesaria una revisión permanente, constante y exacta de las diferentes imperfecciones, visibles o no, que se generan en los procesos de soldadura.

Las diferentes imperfecciones existen desde el metal de soldadura hasta el propio metal base utilizado en los diferentes procesos en los cuales se utiliza la soldadura. Estas imperfecciones por lo general, son las denominadas discontinuidades las cuales constan de diferentes formas: incluyendo fisuras, falta de fusión, falta de penetración, inclusiones, porosidad, socavación. Ante estas situaciones es necesario detectarlas para evitar problemas de calidad y seguridad en los procesos de soldadura. (Ortiz, 2014)

Se denomina discontinuidad a las alteraciones intencionales o no de las propiedades mecánicas, físicas y metalúrgicas de los metales, se clasifican de acuerdo a los efectos que se producen sobre las propiedades de los metales. Cuando las discontinuidades afectan las propiedades de la soldadura causando fallas son llamadas “defectos”, pero no todas pueden ser consideradas así. (Sánchez García, 2013) (Falcón Vázquez, 2016)

Las discontinuidades se diferencian de los defectos de acuerdo al efecto que pueda tener sobre la pieza o superficie de soldadura de acuerdo a los parámetros establecidos de aceptación y rechazo por ende, las discontinuidades en ocasiones no afectan al rendimiento de la pieza o superficie soldada. Sin embargo por los estándares de seguridad y calidad hay que realizar las respectivas observaciones y análisis con la finalidad de que el proceso en el que se llevó a cabo el soldado fue el más óptimo y eficiente.

#### **2.15. Discontinuidades en el cordón de soldadura**

Las discontinuidades que se producen en soldadura, pueden ser de diversa índole y generarse debido a una multiplicidad de factores. Algunas son específicas al tipo de procedimiento o método utilizado para realizar la soldadura; otras son frecuentes a casi todos los procedimientos o metodologías; sin embargo en muchas

ocasiones, las discontinuidades son ocasionadas por la inexperiencia o negligencia del soldador (posición incorrecta del electrodo, eliminación insuficiente de escorias, etc.).

Las discontinuidades se originan a que los parámetros del proceso (intensidad inadecuada, velocidad de desplazamiento del arco demasiado elevada, etc.) no están bien definidos para el proceso de soldadura; para finalizar, también existen discontinuidades debidas a una unión deficiente (tipo de preparación inadecuada para el espesor de la placa, electrodo mal indicado para el tipo de material a soldar, etc.). (Romero Reyes, 2013)

La identificación de las diferentes discontinuidades de la soldadura es muy importante porque las imperfecciones dentro o adyacentes a la soldadura puede evitar que la soldadura alcance su función prevista y a su vez, permite darle una mayor seguridad y calidad en el trabajo realizado. El número de discontinuidades permitidas para una determinada aplicación o trabajo realizado es obtenido de códigos o estándares. Además de la cantidad, la localización y distribución de las discontinuidades detectadas puede ser crucial y puede resultar en un fallo prematuro de la soldadura mediante la reducción de la resistencia o producir concentradores de esfuerzo dentro del componente soldado. (Acosta Echeverría, 2015)

La soldadura perfecta es un término que no existe, ya que toda soldadura presenta discontinuidades, interpretadas como la pérdida de homogeneidad del material. Cuando una discontinuidad se considera inaceptable, pasamos a tener un defecto en la estructura, y éste se ha de reparar.

Las discontinuidades más comunes que se encuentran en la soldadura son las siguientes:

- Porosidad: Discontinuidad del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. Se divide a su vez en cuatro tipos:
  - a) Porosidad uniformemente dispersa: Es porosidad uniformemente distribuida a lo largo de la soldadura; causada por la aplicación de una técnica de soldadura incorrecta o por materiales defectuosos.
  - b) Porosidad agrupada: Es un agrupamiento localizado de poros. Generalmente resulta por un inicio o fin inadecuado del arco de soldadura.
  - c) Porosidad alineada: Frecuentemente ocurre a lo largo de la interface metal de soldadura / metal base, y es causada por la contaminación que provoca el gas por su evolución en esos sitios.



- d) Porosidad vermicular o tipo gusanos: Es un poro de gas alargado. Este tipo de porosidad de soldadura se extiende desde la raíz hasta la superficie de la soldadura.
- Fusión incompleta: Discontinuidad bidimensional causada por la falta de unión entre los cordones de soldadura y el metal base, o entre los cordones de la soldadura.
- Penetración incompleta: Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como “penetración incompleta”.
- Fisuras: Ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. La mayor parte de las normas utilizadas consideran que las fisuras son, independientemente de su longitud, defectos y por lo tanto una vez detectadas deben removerse, eliminarse.

Las fisuras pueden clasificarse en:

Fisuras en caliente: se desarrollan durante la solidificación y su propagación es intergranular (entre granos).

Fisuras en frío: se desarrollan luego de la solidificación, son asociadas comúnmente con fragilización por hidrógeno. Se propagan entre y a través de los granos (inter y transgranular).

Según su forma, las fisuras también se pueden clasificar en:

Fisuras longitudinales: son paralelas al eje de la soldadura. En soldaduras de arco sumergido, son comúnmente asociadas con altas velocidades y a veces están relacionadas con problemas de porosidad, que no se muestran en la superficie. Fisuras longitudinales en pequeñas soldaduras entre grandes secciones, son frecuentemente el resultado de un alto grado de enfriamiento y de grandes restricciones.

Fisuras transversales: generalmente son el resultado de esfuerzos debido a contracciones longitudinales actuando en metales de soldadura de baja ductilidad.

Cráteres: ocurren cuando el arco es terminado incorrectamente. Generalmente tienen forma de estrella. Son superficiales, se forman en caliente y usualmente forman redes con forma de estrella.

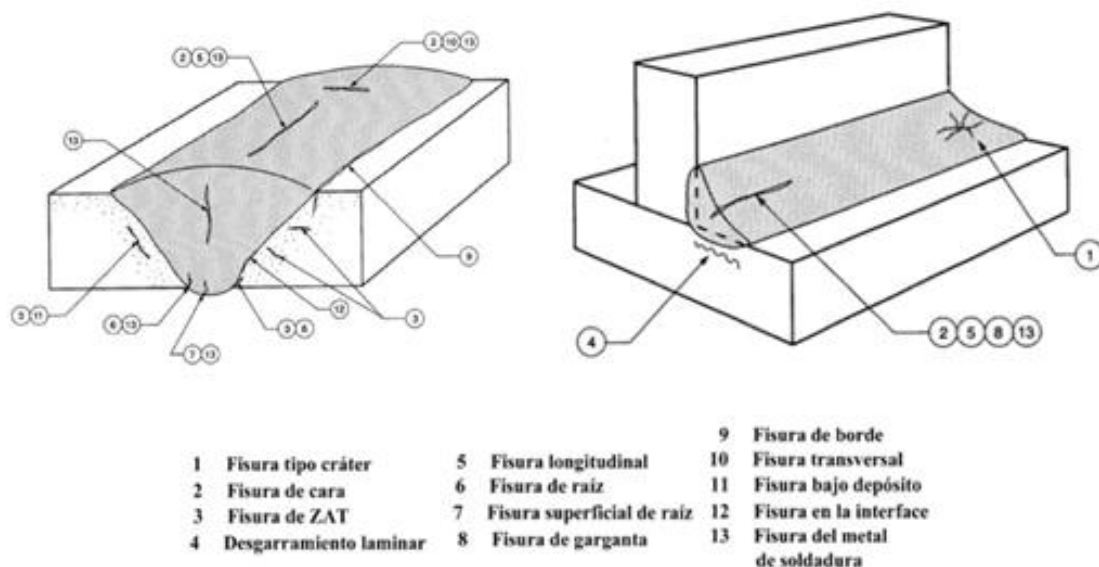
De garganta: son fisuras longitudinales ubicadas en la cara de la soldadura. Generalmente, pero no siempre, son fisuras en caliente.

De borde: son generalmente fisuras en frío. Se inician y propagan desde el borde de la soldadura, donde se concentran los esfuerzos de contracción. Se inician perpendicularmente a la superficie del metal base. Estas fisuras son generalmente el resultado de contracciones térmicas actuando en la zona afectada térmicamente (ZAT).

De raíz: son longitudinales, en la raíz de la soldadura o en la superficie de la misma. Pueden ser fisuras en caliente o en frío.

Fisuras bajo el cordón y fisuras en la ZAT: son generalmente fisuras en frío que se forman en la ZAT del metal base. Son generalmente cortas, pero pueden unirse para formar una fisura continua.

**Figura 18. Tipos de fisuras**



Fuente: <http://nahivygmailcom.blogspot.com/>

- Socavadura/mordedura: Asociadas generalmente con técnicas inapropiadas y/o corrientes excesivas de soldadura. La socavadura es una muesca o canaleta o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura; es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o caños, todo lo cual es perjudicial.

- Concavidad: Cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base.
- Garganta insuficiente: Puede ser debido a una depresión en la cara de la soldadura de filete, disminuyendo la garganta, cuya dimensión debe cumplir la especificación dada por el proyectista para el tamaño del filete.
- Solape: Es la porción que sobresale del metal de soldadura más allá del límite de la soldadura o de su raíz. Se produce un falso borde de la soldadura, estando el metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin haberlo fundido (como que se derramó el metal fundido sobre el metal base).
- Sobremonta excesiva: Es un concentrador de tensiones y, además, un exceso de ésta aumenta las tensiones residuales, presentes en cualquier soldadura, debido al aporte sobrante. Por estos motivos las normas limitan el valor de R, que en general no debe exceder de 1/8" (3mm).
- Laminaciones: Son discontinuidades planas y alargadas en el metal base, encontrándose normalmente en la parte media del espesor de los materiales forjados (como lo son las planchas de acero utilizadas para construcción de recipientes o tanques, que se producen por laminado (rolado), el cual es un proceso de forja).
- Golpe de arco: Imperfección localizada en la superficie del metal base, caracterizada por una ligera adición o falta de metal, resultante de la apertura accidental del arco eléctrico.
- Desalineación: Esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas. Las normas limitan esta desalineación, normalmente en función del espesor de las partes a soldar.
- Salpicaduras: Son los glóbulos de metal de aporte transferidos durante la soldadura y adheridos a la superficie del metal base, o a la zona fundida ya solidificada.
- Penetración excesiva: En una soldadura simple desde un solo lado, esta discontinuidad representa un exceso de metal aportado en la raíz de la soldadura que da lugar a descolgaduras de metal fundido.

- Rechupe: Es la falta de metal de soldadura resultante de la contracción de la zona fundida, localizada en la cara de la soldadura.

Todos esos tipos de discontinuidades que se producen y se logran identificar en las uniones de soldadura van a depender de su tamaño y / o ubicación. (Pérez Vergara, 2009)

## Capítulo 3

### Marco metodológico

#### 3.1. Aplicación de los END durante el proceso de construcción de la tubería

Para la construcción de la tubería será necesario que su fabricación se realice a secciones, las cuales pasaran por 4 etapas la primera es la preparación de la lámina de acero, la siguiente es la fase de rolado donde las láminas son roladas para obtener piezas cilíndricas llamadas “virolas” y posteriormente pasan la fase de conformación del tubo en la cual se unen las “virolas” mediante soldadura para conformar la sección de la tubería en esta fase la sección de la tubería queda lista para pasar a la fase final de recubrimiento superficial y acabado.

La aplicación de los END se realiza durante la fase de conformación de las secciones de la tubería, en esta fase la “virola” es soldada interna y externamente de manera longitudinal mediante arco sumergido. Una vez soldada la “virola” se realiza la inspección visual, en este caso la inspección se realiza para visualizar defectos superficiales en el cordón de soldadura realizado de forma longitudinal con la ayuda de un instrumento de medición (galga tipo puente), así mismo se aplica el END de ultrasonido con la finalidad de detectar discontinuidades internas del cordón de soldadura.

La conformación del tubo es un proceso en el cual 4 virolas son soldadas de circunferencialmente mediante arco sumergido. Conformada y soldada la sección de la tubería se aplica el END de inspección visual para verificar dimensiones del tubo como diámetros, longitudes, perímetros y al cordón de soldadura circunferencial con la ayuda del instrumento de medición galga tipo puente.

Concluida la inspección visual se procede a realizar la inspección al cordón de soldadura circunferencial mediante la aplicación del ensayo no destructivo por método de ultrasonido, en caso de que durante la aplicación de este método se detecten defectos en el interior del cordón se enviarán a reparación.

Durante la reparación se procede a abrir el cordón de soldadura y aplicar el método de tintas penetrantes como ayuda visual para encontrar el defecto y que este sea reparado. Una vez que el defecto ha sido reparado se realiza nuevamente la inspección por método de ultrasonido para constatar que no existe defecto alguno en el interior del cordón de soldadura.

La metodología utilizada en el presente trabajo para la aplicación de los ensayos no destructivos (END) por método de ultrasonido, radiografías, tintas penetrantes e inspección visual a las virolas y las secciones de los tubos conformados se basa en los procedimientos establecidos por la empresa OBRAPLANFIS S.A. los cuáles serán aplicados por personal calificado y certificado acorde a los parámetros establecidos en las normativas vigentes aplicables, las mismos detalladas en cada uno de los procedimientos.

### **3.2. Procedimiento de inspección visual de estructuras metálicas**

#### **3.2.1. Documentos de referencia**

- Práctica recomendada ASNT-SNT-TC-1A Edición 2011
- AWS D1.1 Structural Welding Code Steel
- AWS D1.2 Structural Welding Code Aluminium
- AWS D1.3 Structural Welding Code Sheet Steel
- AWS D1.5 Structural Welding Code Bridge

#### **3.2.2. Requisitos del personal**

El personal que utilice este procedimiento deberá ser capacitado, calificado y certificado como nivel I, II o III en VT, de acuerdo a lo establecido en la práctica recomendada ASNT-SNT-TC-1<sup>a</sup>, edición 2011, documento emitido por la ASNT.

#### **3.2.3. Equipos y accesorios a ser utilizados**

- Bridgecam
- Pitting gage
- Fillet gage
- Regla
- Flexómetro
- Cámara de fotos
- Marcador de pintura

#### **3.2.4. Desarrollo de la inspección**

Previo a la ejecución de la inspección visual, el técnico deberá seguir el siguiente procedimiento:

- La superficie a ser inspeccionada debe estar completamente limpia.
- En lugares cerrados debe verificar que la intensidad mínima sea 500lux.
- Si no se cumple con el nivel de intensidad, puede usar iluminación artificial.
- La distancia máxima a la cual se debe realizar la inspección visual es de 24"
- Si es necesario para la inspección pueden utilizarse herramientas como espejos, magnificadores, entre otros.
- Cuando detecte presencia de discontinuidades realice un registro fotográfico y marque las zonas afectadas.

### **3.2.5. Criterios de aceptación y rechazo**

Previo Para el criterio de aceptación y rechazo se utilizarán los establecidos en el código, norma o especificación aplicable a la estructura inspeccionada, o el acordado en un documento escrito con el cliente.

## **3.3. Procedimiento de Inspección Ultrasónica con la técnica Phased Array**

### **3.3.1. Documentos de referencia**

- Práctica recomendada ASNT-SNT-TC-1A Edición 2011
- ASME SECCIÓN V Art. 4 Edición 2015
- ASME SECCIÓN VIII DI.1 APENDIX MANDATORIO 12, edición 2015
- ASME E 2700-14
- ASME E 164-13

### **3.3.2. Requisitos del personal**

El personal que realiza las inspecciones de soldadura debe estar calificado y certificado mínimo como Nivel II de acuerdo con la práctica recomendada SNT-TC-1A edición 2011, documento emitido por la ASNT.

### **3.3.3. Equipo a utilizar**

- Unidad ultrasónica equipo de Phased Array EPOCH 1000i, del fabricante Olympus
- Palpadores de Phased Array
- Block de referencia, Block DSC (Block de Calibración Distancia y Sensibilidad)
- Acoplante, de glicerina o celulosa pegajosa mezclada con agua.

### 3.3.4. Limpieza de las zonas a inspeccionar

- Las zonas a ser inspeccionadas deberán estar libres de salpicaduras de soldaduras, grasas, etc.
- Dentro de la zona de inspección está comprendida la zona adyacente de la Soldadura (aproximadamente 2" a cada lado) y la soldadura propiamente dicha.

### 3.3.5. Procedimiento de inspección

- Las soldaduras sujetas a la inspección ultrasónica previamente deben estar aceptadas por inspección visual.
- Las soldaduras sujetas a inspección pueden ejecutarse inmediatamente después de que las soldaduras estén terminadas y a temperatura ambiente.
- El procedimiento de examinación por Phased Array, son nominalmente idénticos al procedimiento de ultrasonido convencional, en lo que respecta a cobertura, ángulos, etc, los procedimientos de examinación para configuraciones de soldadura comunes están detallados en ASTM E 164
- La cobertura de inspección será el cordón de soldadura incluyendo la zona térmicamente afectada (HAZ)
- Las trayectorias de búsqueda se realizan para determinar la presencia fisuras transversales y longitudinales
- Las direcciones de barrido se aplicaran de acuerdo a la condición superficial de la zona a inspeccionarse

### 3.3.6. Criterios de aceptación y rechazo

Para la inspección bajo ASME V art. 4 los criterios de aceptación y rechazo serán los establecidos en el código ASME sección VIII, Appendix Mandatorio 12 "examinación ultrasónica de soldaduras", y se describe a continuación.

Imperfecciones las cuales producen respuestas más grandes que el nivel de referencia deben ser investigados a la extensión que el operador pueda determinar la forma, identificación y localización de tales imperfecciones y las evalúe, de acuerdo a los siguientes criterios:

- a. Indicaciones caracterizadas como rajaduras, faltas de fusión, o penetración incompleta, son inaceptables sin considerar su longitud
- b. Otras imperfecciones son inaceptables si la indicación excede la amplitud del nivel de referencia y también exceden las siguientes longitudes:
  - $\frac{1}{4}$ " (6mm) para espesores (t) hasta  $\frac{3}{4}$ " (19mm)
  - $\frac{1}{3}$ " t para espesores de  $\frac{3}{4}$ " hasta  $2\frac{1}{4}$ " (19mm A 57 mm)



- $\frac{3}{4}$ " t (919mm) para espesores sobre 2  $\frac{1}{4}$ " (57mm)

Nota: T es el espesor de la soldadura excluyendo cualquier refuerzo permisible.

Para uniones soldadas a tope de dos miembros que tengan diferente espesor, t es el espesor más delgado de los dos. Si una soldadura de penetración completa incluye una soldadura a filete, el espesor de la garganta del filete debe ser incluido en t.

### **3.4. Procedimiento de inspección radiografía**

#### **3.4.1. Documentos de referencia**

- ASME Boiler and Pressure Vessel, ASME V, Non Destructive Examination Edition 2013
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code Secc. VIII DIV, Edition 2013.
- AWS D1.1 Structural welding code
- API 1104.- American Petroleum Institute
- ASTM American Society For Testing and Materials, ASTM; E747-2004(2010)
- ASTM E94-04 (REAPPROVED 2010).- Práctica standard para examinación Radiográfica
- ASNT American Society for Non Destructive Testing, SNT-TC-1A, 2011

#### **3.4.2. Requisitos del personal**

El personal que utilice este procedimiento deberá ser capacitado, calificado y certificado como nivel I, II o III en el método de Radiografía Industrial (RT), de acuerdo a los establecido en la práctica Recomendada ASNT-SNT-TC-1<sup>a</sup>, edición 2011, documento emitido por la ASNT.

#### **3.4.3. Equipos y Fuente de Radiación**

- Cámara marca SENTINEL, modelo DELTA 880 con capacidad 120 Ci
- Fuente de radiación Gama (Ir 192) marca SENTINEL modelo 97E64514

#### **3.4.4. Preparación de la superficie**

La superficie deberá cumplir con las especificaciones del material aplicable, con acondicionamiento adicional si es necesario por cualquier proceso adecuado para que el grado de irregularidad superficial no enmascare o sean confundidas las discontinuidades.

### 3.4.5. Película radiográfica

Las radiografías deberán ser hechas usando película radiográfica industrial de grano fino, marca AGFA STRUCTURIX D7 o similar clase ASTM II. Una película será usada en cada cassette o chasis y deberá permitir alcanzar los niveles de calidad radiográfica establecidos en el código de referencia.

### 3.4.6. Pantallas intensificadoras

Se utilizarán pantallas intensificadoras de plomo 0.010" lado frontal y lado posterior.

### 3.4.7. Técnica de exposición radiográfica

Una técnica de exposición de simple pared (PSVS) debe ser usada cuando sea aplicables, cuando se es aplicables el uso de esta técnica se deberá aplicar la técnica de doble pared (PD) ya se pared doble de vista simple (PDVS) o pared doble de vista doble. Se deberá realizar un número adecuado de exposiciones para cubrir todo el espacio requerido.

### 3.4.8. Técnica de exposición radiográfica

Las penumbras geométricas de las radiografías deben ser determinadas por:

$$Ug = \frac{Fxd}{D} \quad \text{o} \quad Ug = \frac{Fxt}{D}$$

Dónde:

Ug: Penumbra geométrica

F= tamaño de fuente (tamaño focal efectivo)

D = Distancia de la fuente de radiación a la soldadura

d = Distancia del objeto lado fuente a la película (t espesor)

Los valores máximos admitidos para la penumbra geométrica en función del espesor radiografiado son los descritos en la tabla 2:

**Tabla 2. Valores máximos admitidos para penumbra geométrica**

<b>Espesor del material (t) pulg.</b>	<b>Ug máximo (pulg)</b>
t menos a 2"	0,020"
desde 2" hasta 3"	0,030"
desde 3" hasta 4"	0,040"
Sobre 4"	0,470"

Fuente: Procedimiento de inspección radiográfica de Obraplanfis

**3.4.9. Tiempo de Exposición**

Para el cálculo del tiempo de exposición se utilizará la siguiente expresión:

$$T = \frac{(EPx\phi^2x2^{\phi/13.5})}{A}$$

Dónde:

FP: Factor de película

T: Tiempo de exposición (segundos)

e: Espesor que debe atravesar la radiación (mm)

A: Actividad de la Fuente (Ci)

Ø: Diámetro exterior o distancia fuente película (pug)

**Tabla 3. FP de acuerdo al tipo de película**

<b>Tipo de película</b>	<b>FP</b>
AGFA D7	7
AGFA D5	8
AGFA D4	16
FUJI 80	8
FUJI 50	16

Fuente: Procedimiento de inspección radiográfica de Obraplanfis

**3.4.10. Densidad radiográfica**

La densidad de película transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del penetrómetro o hilo esencial designado en el área de interés o soldadura de ser mínimo 2.0 H&D y la máxima densidad no más de 4.0.

Una tolerancia de medidas será de 0.05 al medir con el densiómetro o comparador de densidades calibrado.

### 3.4.11. Variaciones de densidad

La medición de la densidad radiográfica en el área de interés puede variar de menos 15% a más de 30% de la densidad. Cuando no se cumpla esto debe adicionarse un penetrómetro en el área que no cumpla.

### 3.4.12. Definición de la imagen

- La imagen libre de imperfecciones que alteren o enmascaren los defectos.
- El hilo de penetrómetro que corresponda según OPRT3, 4 debe distinguirse claramente la imagen.

### 3.4.13. Densitómetros

Debe ser calibrado cada 3 meses y chequeado diariamente.

### 3.4.14. Penetrómetros

Se utilizará el ASTM de hilos de acuerdo a la siguiente tabla. El espesor en el cual se basará el penetrómetro será el espesor de pared más el espesor del refuerzo.

**Tabla 4. Numero de hilos para penetrómetros**

<b>Espesor de pared más sobre- espesor (pulg)</b>	<b>Lado fuente N° de hilo</b>	<b>Lado film N° de hilo</b>
Desde 0" hasta 0,250" 0mm - 6,35mm	5 (0,008")	4 (0,006")
Mayor a 0,250" hasta 0,375" 6,35mm - 9,52mm	6 (0,010")	5 (0,008")
Mayor a 0,375" hasta 0,500" 9,52mm - 12,7mm	7 (0,013")	6 (0,010")
Mayor a 0,500" hasta 0,750" 12,7mm - 19,05mm	8 (0,016")	7 (0,013")
Mayor a 0,750" hasta 1,00" 19,05mm - 25,40mm	9 (0,020")	8 (0,016")
Mayor a 1,000" hasta 1,500" 25,40mm - 38,10mm	10 (0,025")	9 (0,020")

Fuente: Procedimiento de inspección radiográfica de Obraplanfis

### **3.4.15. Radiación dispersa**

Para determinar la existencia de radiación dispersa proveniente de cuerpos o materiales cercanos a la junta inspeccionada (distancia corta entre tubería u suelo), se colocará en cada porta películas una letra “B” de plomo  $\frac{1}{2}$ " de altura y  $\frac{1}{16}$ " de espesor en el lado posterior sobre cada porta películas.

### **3.4.16. Selección del penetrómetro**

La selección del indicador de calidad de imagen estará de acuerdo con el espesor total a radiografiar según tablas.

- Soldadura con refuerzo.- El espesor en base al cual el penetrómetro es seleccionado es el espesor nominal de una pared simple más el refuerzo de soldadura. Anillos de respaldo o tiras no deberán ser consideradas como parte del espesor de soldadura para la selección del penetrómetro, la medida real del refuerzo de soldadura no es requerido.
- Soldaduras sin refuerzo.- El espesor en base al cual el penetrómetro es seleccionado es el espesor nominal de una pared. Anillos de respaldo o tiras no deberán ser consideradas como parte del espesor de soldadura para la selección del penetrómetro.

### **3.4.17. Localización de penetrómetros**

- Los penetrómetro deben ser colocados en el lado fuente de la parte que a ser examinada.
- Cuando no sea posible cumplir con lo anterior el penetrometro puede ser colocado en el lado película en contacto con la parte que está siendo radiografiada.
- Los penetrómetro deberán ser colocados sobre la soldadura de tal manera que la longitud de los alambres sea perpendicular a la longitud de soldadura.

### **3.4.18. Número de penetrómetros**

Para componentes donde uno o más porta películas son usados para exposición al menos un penetrómetro deberá aparecer en la imagen de cada radiografía, excepto cuando ocurre lo siguiente.

- penetrómetros múltiples: Si los requerimientos de densidad radiográfica son alcanzados usando más de un penetrómetro uno deberá ser representativo del área de interés más clara, y el otro del área de interés más oscura, las densidades que intervienen en la radiografía deben ser consideradas como de densidad aceptable.
- Para radiografías de pared simple e imagen simple (panorámicas) se colocaran 3 penetrómetro al menos espaciados a 120 grados.
- En el caso de reparaciones se colocara un penetrómetro en la zona reparada.
- Para radiografías de soldadura usando técnica de exposición pared doble, imagen doble se colocara un penetrómetro lado fuente perpendicular a la soldadura.
- En la imagen radiográfica debe aparecer claramente la identificación del penetrómetro.

#### **3.4.19. Proceso radiográfico**

- Verificación de las dimensiones de la tubería
- Selección del indicador de calidad de imagen
- Montar chasis, escogiendo tipo de película.
- Calcular tiempo de exposición
- Preparación de equipos y toma de precauciones en cuanto a protección radiológica
- Aislamiento y señalización de área
- Verificación de la condición superficial de la zona a radiografiar
- Colocar película en la zona a radiografiar
- Realizar toma de radiografía
- Procesar la película y verificar la calidad de la misma
- Emitir el resultado

#### **3.4.20. Procesado de películas**

- La solución se preparará de acuerdo a recomendaciones del fabricante.
- La temperatura de los baños para el revelado de las películas será de  $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Las pequeñas variaciones de temperatura pueden ser compensadas aumentando o disminuyendo el tiempo de revelado de acuerdo a recomendaciones del fabricante.
- **Revelado:** El revelado será manual, el tiempo de revelado será en 5 minutos a  $20^{\circ}\text{C}$  o se determinará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. El cuarto

oscuro debe estar con lámparas de luz roja filtrada para evitar que se velen las películas cuando se revele.

- **Agitación:** Durante el tiempo de revelado se agitarán las películas a intervalos de un minuto.
- **Lavado intermedio o baño de paro:** Después del revelado, las películas se pasarán por agua limpia de preferencia recirculante, su duración será de al menos 2 minutos.
- **Fijado:** Después del baño de paro las películas pasarán al baño fijador, agitándolas durante los primeros 10 segundos. Las películas permanecerán en este baño durante un mínimo de 7 minutos o el doble del tiempo que la película requiere para alcanzar su transparencia. Pero no más de 15 minutos.
- **Lavado final:** Las películas se lavan en agua limpia corriente al menos durante 15 minutos y se debe agitarlas adecuadamente.
- **Secado:** Si es posible, se utilizará un agente humectante del lavado final y antes del secado de las películas. Se procurará realizar el secado con secadora automática de película o secado manual con paños absorbentes.
- **Cuarto de observación:** Iluminación tenue es preferible que la oscuridad total en el cuarto oscuro. Los destellos alrededor del área de observación deben ser eliminados. La iluminación del cuarto debe ser arreglada para que no haya reflexión de la superficie de la película bajo examinación.
- **Observación de radiografías:** El iluminador (o negatoscopio) deberá proveer luz con una intensidad variable que permita cubrir densidades de las áreas de interés y debe permitir leer densidades de hasta 4.0 H&D sin dañar a la película. Deben proveerse máscaras para eliminar cualquier luz proveniente de los bordes o zonas de baja densidad de la película que interfiera cuando se esté mirando la radiografía. Todo este será dentro de un cuarto oscuro climatizado.

### 3.4.21. Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación y rechazo se aplicaran de acuerdo al código, norma o especificación aplicable. (ASME, API, AWS, etc)

### 3.5. Procedimiento de Inspección por el Método de Líquidos Penetrantes tipo II removible con solvente, para la inspección de cordones de soldadura

#### 3.5.1. Documentos de referencia

- ASNT –SNT-TC-1A-, edición 2011
- ASTM E 1417-13
- ASTM E 165-12
- ASTM E 1220 – 10
- ASME SECCIÓN V Art 6 Edición 2015
- QPLAMS 2644- Rev. 15
- Especificaciones departamento de Seguridad Industrial cliente.

#### 3.5.2. Requisitos del personal

El personal que utilice este procedimiento deberá ser capacitado calificado y certificado como nivel I, II o III en el método de Líquidos Penetrantes (PT), de acuerdo a lo establecido en la práctica Recomendada ASNT-SNT-TC-1A, edición 2011, documento emitido por la ASNT (American Society for non destructive Testing)

#### 3.5.3. Equipo y material utilizado

**Tabla 5. Equipos y materiales utilizados para aplicación de END por método de tintas penetrantes.**

<i>Equipo y material utilizado</i>	<i>P/N</i>
Líquido penetrante Tipo II (Spotchek)	SKL-SP1 o equivalente
Revelador (Spotchek)	SKD-S2 o equivalente
Cleaner (Spotchek)	SKC-S o equivalente

Fuente: Procedimiento de Inspección por el Método de Líquidos Penetrantes tipo II removible con solvente, para la inspección de cordones de soldadura

#### 3.5.4. Limpieza del área de inspección

Todas las superficies antes de ser inspeccionadas por este método deben estar libres de recubrimientos, pintura, grasa, polvo, arena, etc., que pueden afectar la veracidad de los resultados de la inspección.



### **3.5.5. Aplicación del penetrante**

Aplique el penetrante sobre la superficie, con una brocha o por aspersión, cubriendo el área de manera completa y uniforme, dejando que actúe el tiempo de acuerdo al material descrito en la Tabla 1. El componente, penetrante y temperatura ambiente deberán todos estar en un rango de 4 a 52°C, a menos que esté especificado de otra manera.

### **3.5.6. Tiempo de permanencia del penetrante**

El tiempo de permanencia, deberá ser un minuto de 10 minutos. Para temperaturas entre 4.4 y 10°C, el tiempo de permanencia será mínimo 20 minutos.

### **3.5.7. Remoción del penetrante**

- Después de transcurrido el tiempo de permanencia se procederá a remover el exceso de penetrante primero utilizando un paño seco y luego un paño humedecido con solvente, aplicándolo sobre la superficie a fin de limpiar adecuadamente.
- Compruebe mediante una inspección visual que el exceso de penetrante haya sido removido adecuadamente para que no exista una sobre remoción.
- Evite la limpieza excesiva, esto puede causar que el penetrante sea eliminado de las discontinuidades.

### **3.5.8. Secado de piezas**

Las partes deberán ser secadas antes de la aplicación del revelador, revelador no acuoso.

### **3.5.9. Aplicación del revelador**

- Aplique el revelador inmediatamente después de que el exceso de penetrante haya sido removido de la superficie de la parte.
- Las partes pueden secarse exponiéndolas al aire a temperatura ambiente o usando un secador a una temperatura moderada.
- Los tiempos de revelado mínimo y máximo después de que el componente es secado, son 10 minutos y una hora.

### **3.5.10. Inspección**

Se recomienda que el Nivel II o III NDT asignado esté en el área de inspección en el momento en que el revelador sea puesto para realizar un monitoreo mientras transcurre el tiempo para realizar la interpretación de los resultados.

Los componentes sin indicaciones o solo con indicaciones no relevantes deberán aceptados.

Los componentes con indicaciones relevantes deberán ser evaluados con respeto a los criterios de aceptación aplicables.

### **3.5.11. Interpretación de las indicaciones**

Solamente el Inspector de Líquidos Penetrantes certificado como Nivel II o III de acuerdo a ASNT SNT TC-1A, ejecutará la interpretación de los resultados.

### **3.5.12. Limpieza posterior**

- El área inspeccionada será limpiada después de la examinación para remover los reveladores y otros residuos de material de examinación, si estos son perjudiciales para operaciones subsiguientes o para los componentes de función propuesta.
- Esto es particularmente importantes cuando el penetrante residual de materiales inspeccionados puede combinarse con otros factores en servicio que puedan provocar corrosión. Una técnica apropiada, tal como un simple enjuague de agua, rocío de agua o remojo de solvente pueden ser empleados.

### **3.5.13. Criterios de aceptación y rechazo**

Se utilizaran los establecidos en el código, norma o especificación aplicable al material que está siendo inspeccionado o el acordado en un documento escrito con el cliente.

Solamente el personal certificado como nivel I y nivel III en PT podrá tomar la decisión de aceptar o rechazar un material inspeccionado

## Capítulo 4

### Resultados

#### 4.1. Inspección mediante la aplicación de los END

Durante la inspección de los cordones de soldadura mediante la utilización de ensayos no destructivos se aplicaron las técnicas de inspección superficial con los métodos de inspección visual e inspección por ultrasonido y las técnicas de inspección volumétrica con los métodos de ultrasonido Phased Array y radiografía industrial.

Desde el 24 de Octubre de 2016 al 11 de Mayo de 2017 se ha inspeccionado 300 tubos con una longitud de 3.576,00 metros de cordón de soldadura de forma longitudinal aplicado a las virolas de los tubos y 8.550,00 metros de manera circunferencial a los tubos conformados aplicando el método de inspección visual y el método de ultrasonido Phased Array.

**Figura 19. Medición del desplazamiento de la virola con la ayuda de galga tipo puente**



**Fuente: Obraplanfis S.A.**

**Figura 20. Inspección con ultrasonido a soldadura circunferencial del tubo conformado**



**Fuente: Obraplanfis S.A.**

El método de tintas penetrantes se aplicó a 109,54 metros de cordón de soldadura de manera longitudinal y 205,56 metros de manera circunferencial como ayuda durante las reparaciones.

La longitud inspeccionada aplicando el método de radiografía es 11,92 metros de cordón de soldadura de forma longitudinal y 28,50 metros de manera circunferencial.

Terminada la aplicación de los END a lo largo de los cordones de soldadura de las secciones de la tubería en la tabla 6 se muestra un resumen de las longitudes inspeccionadas aplicando cada uno de los END aplicados.

**Tabla 6. Resumen de longitudes del cordón de soldadura inspeccionada aplicando END**

Método aplicado	Longitud inspeccionada (m)	
	Longitudinal	Circunferencial
Ultrasonido (PAUT)	3576,00	8488,52
Radiografía (RT)	11,92	28.50
Líquidos Penetrantes (PT)	109,54	205,55
Inspección visual (VT)	3576,00	8550,00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Discontinuidades detectadas mediante la aplicación de los END

Las discontinuidades encontradas en los cordones de soldadura inspeccionados aplicando el método de inspección visual fueron discontinuidades superficiales, subsuperficiales de la pieza. La tabla 7 muestra un resumen de las discontinuidades aplicando este método de inspección.

**Tabla 7. Resumen de discontinuidades encontradas aplicando método de inspección visual**

<b>Método aplicado</b>	<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Discontinuidades/Defectos</b>	<b>Tubos inspeccionados</b>	<b>Tubos con discontinuidad</b>
Inspección visual (VT)	Superficial	Fisuras superficiales	300	18
		Irregularidad de cordón (Soldadura baja)		72
		Irregularidad de cordón (Reforzamiento alto)		100
		Mordedura		243
		Poros superficiales		223

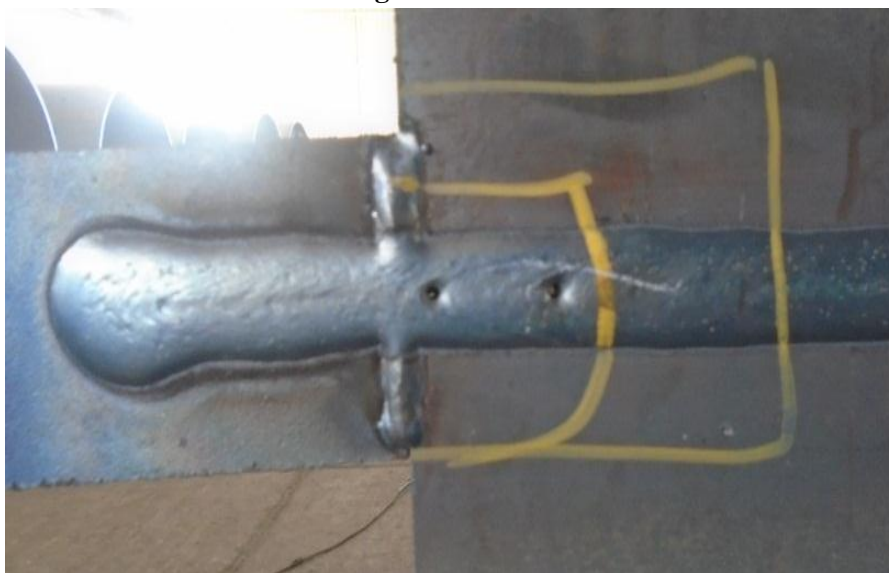
Fuente: Elaboración propia

En las imágenes a continuación se puede observar una muestra de las discontinuidades encontradas en los cordones de soldadura mencionadas en la tabla 7 y detectadas mediante inspección visual.

**Figura 21. Mordedura**



Fuente: Obraplanfis S.A.

**Figura 22. Poros**

**Fuente: Obraplanfis S.A.**

**Figura 23. Fisura**

**Fuente: Obraplanfis S.A.**

La aplicación de END por método de ultrasonido Phased Array se utiliza para la detección de discontinuidades o defectos internos que puedan presentarse en el cordón de soldadura, por lo tanto para su aplicación se requiere la utilización de una unidad ultrasónica que se encuentre calibrada para garantizar su funcionamiento y correcto análisis interno del cordón de soldadura.

A su vez requiere una persona calificada y con experiencia que interprete de forma correcta los resultados observados en la pantalla (Ver ANEXOS). La figura 24 muestra

una prueba realizada a la unidad ultrasónica de Phased Array EPOCH 1000i misma que será utilizada durante las inspecciones por método de ultrasonido.

**Figura 24. Prueba de unidad ultrasónica de Phased Array EPOCH 1000i**



**Fuente: Obraplanfis S.A.**

A través de este método solo se encontraron dos tipos de discontinuidades, mismas que se detalla en la tabla 8.

**Tabla 8. Resumen de discontinuidades encontradas aplicando método de ultrasonido**

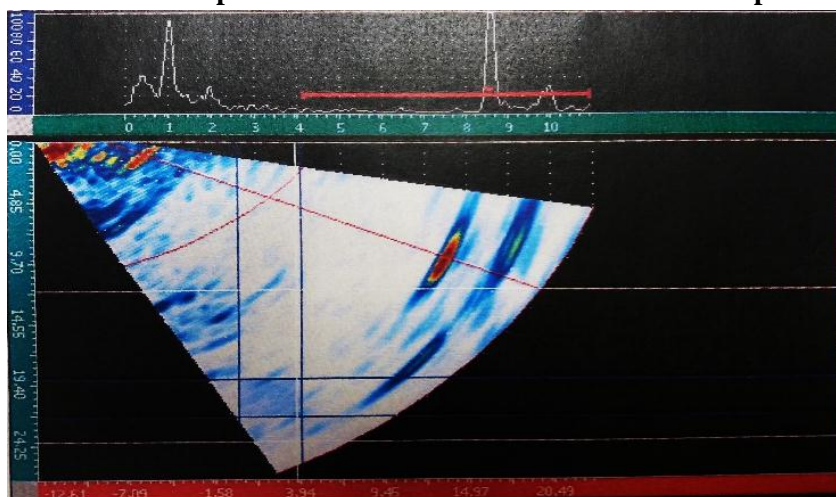
<b>Método aplicado</b>	<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Discontinuidades/ Defectos</b>	<b>Tubos inspeccionados</b>	<b>Tubos con discontinuidad</b>
Ultrasonido (PAUT)	Volumétrica	Fusión incompleta entre pases	300	299
		Poros internos		1

**Fuente: Elaboración propia**

Debido a que son discontinuidades internas del cordón de soldadura las maneras de visualizarlas son en la pantalla de la unidad ultrasónica al momento que se aplica el ensayo no destructivo como se observa en la figura 25 y cuando se va a realizar la reparación de la discontinuidad como se observa en la figura 26.



**Figura 25. Visualización de porosidad interna detectada a través de inspección con PAUT**



**Fuente: Obraplanfis S.A.**

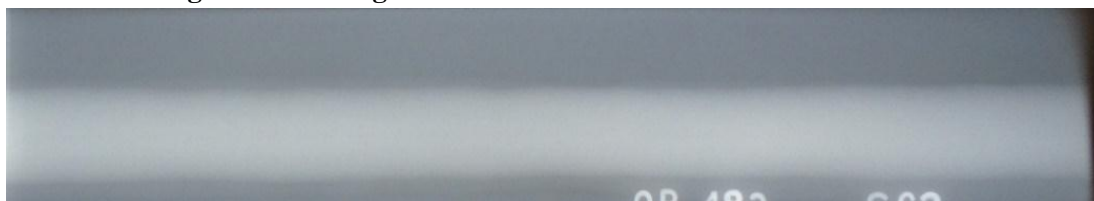
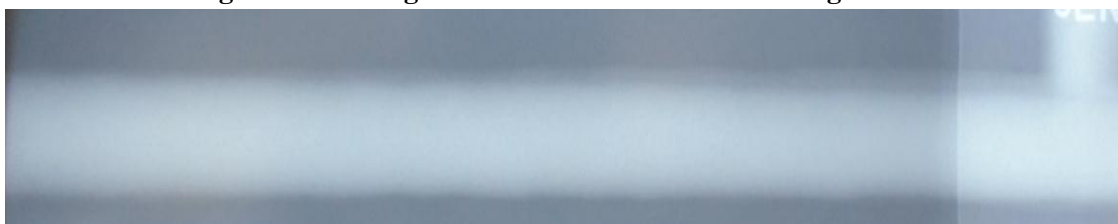
**Figura 26. Reparación de porosidad interna localizada a través de inspección con PAUT**



**Fuente: Obraplanfis S.A.**

La aplicación del método de radiografía se utilizó para la inspección de 4 virolas y un tubo conformado. Durante la inspección no se encontraron defectos en los cordones de soldadura tanto longitudinal como circunferencialmente como se observa en la figura 27 y figura 28.



**Figura 27. Radiografía de cordón de soldadura circunferencial.****Fuente: Obraplanfis S.A.****Figura 28. Radiografía de cordón de soldadura longitudinal.****Fuente: Obraplanfis S.A.**

La aplicación del método de tintas penetrantes se utilizó como ayuda al momento de las reparaciones por lo que los defectos encontrados fueron similares a los detectados mediante las inspecciones con los métodos de inspección visual y ultrasonido. En la tabla 9 se detallan los defectos reparados y la figura 29 muestra un cordón de soldadura al cual se le aplicó líquidos penetrantes como ayuda para encontrar el defecto y que este pueda ser reparado.

**Tabla 9. Resumen de discontinuidades encontradas aplicando método de líquidos penetrantes**

<b>Método aplicado</b>	<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Discontinuidades/ Defectos</b>	<b>Tubos inspeccionados</b>	<b>Tubos con discontinuidad</b>
Líquidos Penetrantes (PT)	Superficial	Fisuras superficiales	300	72
		Fisuras subsuperficiales		110
		Poros internos		1
		Poros superficiales		136
		Poros subsuperficiales		1

**Fuente: Elaboración propia**

Figura 29. Aplicación de líquidos penetrantes como ayuda para reparación de defecto



Fuente: Obraplanfis S.A.

#### **4.3. Análisis del resumen y determinación causas raíces que provocan**

Las discontinuidades en las soldaduras pueden resultar producto de dos factores que pueden ser factores tecnológicos o factores humanos, en el caso de los factores tecnológicos estos se deben a la soldabilidad de los materiales, la selección de los consumibles o los detalles del procedimiento.

Los factores humanos son los que dependen del soldador principalmente por el poco conocimiento que se tiene sobre el material a ser soldado y/o la técnica que se aplica. Aquí también se incluyen las fallas en el equipo de soldadura por las conexiones a tierra o por la fluctuación el suministro de energía.

Dependiendo de la discontinuidad las causas por las que pueden presentarse son muy diversas, para las discontinuidades presentadas en los cordones de soldadura se realizó un análisis de las posibles causas raíz. La tabla 10 muestra las posibles causas de las discontinuidades encontradas.

**Tabla 10. Especificación de las discontinuidades encontradas y sus posibles causas.**

<b>Discontinuidad</b>	<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Causas</b>
Fusión incompleta entre pases	Volumétrica	Variaciones en el suministro de energía
		Mal ángulo de la pistola
		Superficie irregular
		Presencia de escoria u óxidos en el metal base
Poros internos, superficiales, subsuperficiales	Volumétrica	Flujo de gas protector muy bajo debido a entrada de presión muy baja.
		Voltaje de arco muy alto
		Amplia distancia boquilla/pieza de trabajo
Fisuras superficiales y subsuperficiales	Superficial	Tensiones de contracción de la soldadura
Irregularidad de cordón	Superficial	Soldadura baja por falla del soldador para completar el llenado de la unión de soldadura
		El sobreespesor de soldadura por exceso de la cantidad requerida para llenar una junta
Mordedura	Superficial	Corrientes excesivas de soldadura, por variaciones en el suministro de energía.

**Fuente: Elaboración propia**

Luego de analizadas las posibles causas para cada una de las discontinuidades que se presentaron en los cordones de soldadura se ha elaborado una propuesta que muestra soluciones puntuales para disminuir la aparición de estas discontinuidades. En la tabla 11 se muestran los soluciones puntuales para las discontinuidades antes mencionadas.

**Tabla 11. Propuesta de soluciones**

<b>Discontinuidad</b>	<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Soluciones</b>
Fusión incompleta entre pases	Volumétrica	Reducir y aumentar la corriente para soldar.
		Ajustar el ángulo de la pistola y realizar una prueba para asegurar su correcto funcionamiento.
		Antes de comenzar a soldar realizar una correcta limpieza de la pieza y asegurar que la superficie sobre la que se va a soldar no es irregular.
		Realizar una limpieza superficial de la lámina
Poros internos, superficiales, subsuperficiales	Volumétrica	Asegurar que el cilindro o el regulador de presión permita la entrada de la presión requerida
		Reducir la extensión del electrodo
		Reducir la longitud de arco.
Fisuras superficiales y subsuperficiales	Superficial	Realizar una disminución en la restricción de los esfuerzos en la junta.
Irregularidad de cordón	Superficial	Emplear personal y procesos de soldadura calificados para minimizar la presencia de soldadura baja.
		Disminuir con amolado la parte superior del sobreespesor de soldadura.
Mordedura	Superficial	Corregir y controlar el amperaje de la máquina para soldar.

**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.4. Resultados de la aplicación de END posterior a la presentación de las propuestas de solución

Una vez presentadas las propuestas de solución a la empresa metalmecánica esta se comprometió a aplicarlas e inicio realizando una revisión de sus instalaciones eléctricas, y durante los dos meses de descanso antes de iniciar la fabricación del siguiente grupo de tubos se aplicaron las mejoras.

Aplicadas estas mejoras y habiendo dado inicio la fabricación del siguiente grupos de tubos se realizó la aplicación de los ensayos no destructivos de inspección visual y ultrasonido a los primeros setenta y cinco tubos fabricados, con la finalidad de constatar que la existencia de una reducción en la aparición de discontinuidades. La tabla 12 muestra los resultados.

**Tabla 12. Resumen de discontinuidades encontradas posterior a la aplicación de mejoras**

<b>Método aplicado</b>	<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Discontinuidades/Defectos</b>	<b>Tubos inspeccionados</b>	<b>Tubos con discontinuidad</b>
Inspección visual (VT)	Superficial	Fisuras superficiales	75	5
		Irregularidad de cordón (Soldadura baja)		12
		Irregularidad de cordón (Reforzamiento alto)		19
		Mordedura		23
		Poros superficiales		24
Ultrasonido (PAUT)	Volumétrica	Fusión incompleta entre pases	75	29
		Poros internos		1

**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.5. Comparación de efectividad de la aplicación de ensayos no destructivos en comparación con el método de ultrasonido

Los ensayos no destructivos no alteran de forma permanente ninguna de las propiedades físicas o químicas de las piezas inspeccionada, de acuerdo a su aplicación los ensayos no destructivos cuentan con técnicas que evalúan diversos parámetros. Las técnicas pueden ser inspección superficial, inspección volumétrica e inspección de integridad o hermeticidad.

La técnica de inspección superficial como su nombre lo indica inspecciona solamente la superficie de las piezas encontrando aquí la inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y electromagnetismo.

La inspección volumétrica es utilizada principalmente para la inspección interna de la piezas y las técnicas encontramos para este tipo de inspecciones son el Ultrasonido convencional, Ultrasonido Phased Array, radiografía industrial, radiografía neutrónica y emisión acústica.

En el caso de la inspección de la hermeticidad esta es aplicada exclusivamente a productos que contendrán flujos con presiones distintas a la presión atmosférica y su aplicación se hace bajo condiciones controladas.

Conociendo los parámetros que evalúan cada una de las técnicas y los métodos con los que se aplican los ensayos no destructivos, no se puede comparar la efectividad de las técnicas volumétricas versus las técnicas de inspección superficial o las técnicas de hermeticidad. Cabe mencionar que se puede realizar una comparación de efectividad entre los métodos que evalúen los mismos parámetros.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto al realizar la comparación entre el ensayo no destructivos de inspección visual versus el ultrasonido Phased Array, debido a la tecnología utilizada este último resulta más efectivo ya que el ultrasonido examina el cordón de soldadura en su interior y la inspección visual lo examina superficialmente.

Del mismo modo en la comparación de efectividad entre el método de inspección por aplicación de líquidos penetrantes versus la aplicación de ultrasonido Phased Array se concluye que el ultrasonido resulta más efectivo, en este caso cabe mencionar que a pesar de que el ensayo líquidos penetrantes puede detectar discontinuidades subsuperficiales resulta menos efectivo que el ultrasonido ya que este puede detectar discontinuidades subsuperficiales e internas del cordón de soldadura.

Pero en los casos de inspección visual e inspección con líquidos penetrantes estos resultan muy efectivos en la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales, debido a que el ultrasonido no detecta discontinuidades que se encuentren en las capas más cercanas a la superficie de las pieza inspeccionada.

Las comparaciones realizadas entre el método de radiografía industrial versus el método de ultrasonido no fue posible ya que las superficie inspeccionada por el método de radiografía fue mucho menor que la del método de ultrasonido, adicional a eso en la superficie inspeccionada por ambos métodos ninguno detecto discontinuidad por lo que

no se puede determinar si ambos tienen la misma efectividad o si uno es más efectivo que otro.

#### 4.6. Comparación de los costos de los END.

Para realizar la comparación del costo por metro en la aplicación de los ensayos no destructivos se contactó a cinco empresas que se dedican a la inspección mediante END incluida OBRAPLANFIS. Contactadas las empresas se dio detalles de la tubería como las dimensiones y lugar donde se aplicarían los ensayos para que puedan facilitar una cotización detallando el costo por metro de cada uno de los ensayos.

De las cinco empresas contactadas solo cuatro enviaron la cotización detallando los precios de la aplicación de cada uno de los END, las cotizaciones que se recibieron se encuentran en los Anexos del 10 al 13.

Analizando las cotizaciones se pudo apreciar una gran diferencia entre los precios de cada uno de los END y entre cada una de las empresas, otro punto importante a resaltar es que no todas las empresas contactadas realizan todos los ensayos por diversos motivos. En la tabla 13 se detallan que END realizan cada una de las empresas contactadas y los costos por metro.

**Tabla 13. Detalle de los costos por metro de la aplicación de los END**

Proveedor	Costo por metro de aplicación de END			
	PAUT	RT	PT	VT
OBRAPLANFIS	\$ 10,00	\$ 36,00	\$ 5,00	\$ 3,00
SENDRE	<i>NO DISPONE</i>	\$ 9,00	\$ 6,00	\$ 3,13
SENDADES	\$ 8,50	<i>NO DISPONE</i>	\$ 6,00	\$ 2,50
SINDES	\$ 12,25	<i>NO DISPONE</i>	\$ 8,00	\$ 4,50

**Fuente: Elaboración propia**

Las empresas que no brindan el servicio de inspección por ultrasonido Phased Array o radiografía industrial lo hacen por factores como la falta de equipos debido a que para su aplicación son requeridos equipos sofisticados como unidades ultrasónicas en el caso del ultrasonido o fuentes de radiación en el caso de la radiografía industrial, además de personal capacitado, certificado y con experiencia para el correcto manejo de los equipos y elaboración diagnósticos correctos. Por estos factores e estos ensayos también tienen costos más elevados.

El ensayo de inspección visual tiene un costo bajo debido su aplicación es sencilla y los instrumentos utilizados como apoyo para realizar el ensayo no tienen un costo elevado a diferencia de los equipos que se utilizan en los ensayo de PAUT y RT. La aplicación del ensayo de líquidos penetrantes al igual que la de VT es sencilla y los elementos requeridos no tienen un costo elevado por esta razón en comparación a PAUT y RT es mucho más económico.

La tabla 14 y tabla 15 mostradas a continuación muestra los costos totales de las inspecciones realizadas por Obraplanfis S.A. en la empresa metalmecánica aplicando cada uno de los ensayos no destructivos solicitados por el cliente.

**Tabla 14 Costo de las inspecciones realizadas a muestra de 300 tubos**

<b>Método aplicado</b>	<b>Longitud inspeccionada (m)</b>		<b>Costo de inspección</b>
	<b>Longitudinal</b>	<b>Circunferencial</b>	
Ultrasonido (PAUT)	3576	8488,52	\$ 120.645,20
Radiografía (RT)	11,92	28.50	\$ 1.455,12
Líquidos Penetrantes (PT)	109,54	205,55	\$ 1.575,45
Inspección visual (VT)	3576	8550	\$ 36.378,00
<b>Costo total de las inspecciones</b>			<b>\$ 160.053,77</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 15 Costo de las inspecciones realizadas a muestra de 75 tubos**

<b>Método aplicado</b>	<b>Longitud inspeccionada (m)</b>		<b>Costo de inspección</b>
	<b>Longitudinal</b>	<b>Circunferencial</b>	
Ultrasonido (PAUT)	894,00	2129,18	\$ 30.231,75
Radiografía (RT)	0,00	0,00	\$ -
Líquidos Penetrantes (PT)	345,68	823,28	\$ 5.844,81
Inspección visual (VT)	894,00	2129,18	\$ 9.069,53
<b>Costo total de las inspecciones</b>			<b>\$ 45.146,08</b>

**Fuente: Elaboración propia**



## Conclusiones

En las inspecciones con ensayos no destructivos las discontinuidades pueden presentarse en el metal de soldadura o cordón de soldadura como también en el metal base o pieza a soldar, en el caso de esta tubería las discontinuidades que se encontraron se presentaron en los cordones de soldadura tanto las discontinuidades superficiales como las discontinuidades volumétricas.

La aplicación de los ensayos no destructivos para detección de discontinuidades en los cordones de soldadura de las secciones se realizó aplicando las técnicas de inspección superficial e inspección volumétrica, teniendo como resultado que la mayor cantidad de discontinuidades fueron detectadas durante la aplicación de la técnica de inspección superficial por el método de inspección visual.

En cuanto a los factores tecnológicos que predominaron para que se originen las discontinuidades encontramos mayoritariamente las variaciones en el suministro de energía debido a la falta de mantenimiento del sistema eléctrico de la empresa metalmecánica.

En cuanto a los factores humanos los factores que influyeron en la presencia de discontinuidades encontramos mal ángulo de la pistola, flujo de gas muy bajo debido a entrada de presión muy baja, voltaje de arco muy alto, amplia distancia boquilla/pieza de trabajo, soldadura baja y exceso de espesor de soldadura por falla del soldador.

Por lo antes expuesto se concluye que son los factores humanos son los que permitieron la presencia de discontinuidades en la soldadura debido a que como se observa en la tabla 10 donde se especifican las discontinuidades y sus posibles causas se aprecia que la mayoría se debe a fallas del soldador al aplicar la técnica de soldadura y operar la máquina.

Una vez detectadas los factores que influyen en la presencia de discontinuidades en los cordones de soldadura Obraplanfis S.A. propuso una serie de soluciones a la empresa metalmecánica con la finalidad de palpar una reducción en la aparición de discontinuidades durante el proceso productivo.

Entre las mejoras que Obraplanfis S.A. presento a la empresa metalmecánica encontramos elaborar un programa de mantenimiento al sistema eléctrico de la empresa y a las maquinas utilizadas para los procesos de soldadura, emplear procesos de soldadura y personal calificados, establecer y ejecutar un plan de capacitaciones para actualizar y reforzar los conocimientos de los soldadores, realizar un proceso de actualización del procesos de selección de personal para elegir a los candidatos

Una vez realizada la propuesta de mejoras la empresa metalmecánica decidió aplicar estas mejoras en dos fases, dentro de la primera fase se encuentra el mantenimiento al sistema eléctrico de la empresa y a las maquinas utilizadas para los procesos de soldadura. Con la aplicación de esta mejora se pudo constatar una reducción de la presencia de discontinuidades en una muestra de los setenta y cinco tubos inspeccionados del segundo grupo de fabricación de las secciones de la tubería.

En la segunda fase de aplicación de las mejoras la empresa se comprometió a hacer énfasis en la actualización del proceso de selección del personal que realizará los procedimientos de soldadura así como también en ejecutar un plan de capacitaciones para actualizar y reforzar los conocimientos de los soldadores.

En lo referente a la comparación de efectividad de la aplicación de ensayos no destructivos en comparación con el método de ultrasonido se aplicaron los ensayos de inspección visual, inspección por aplicación de líquidos penetrantes y radiografía industrial.

Para las comparaciones realizadas entre el método de ultrasonido Phased Array versus los métodos de inspección visual e inspección aplicando líquidos penetrantes, se puede concluir en base a lo observado que la inspección por ultrasonido resulta más efectiva en la detección de discontinuidades internas de los cordones de soldadura pero al querer detectar discontinuidades más superficiales este método falla debido a que las discontinuidades presentes en una capa baja de la superficie son imperceptibles.

A pesar que dentro de los objetivos no se encuentra realizar una comparación de efectividad entre los ensayos de inspección visual e inspección por líquidos penetrantes, esta fue realizada y se puede concluir que el ensayo de tintas penetrantes resulta más efectivo ya que este detecta no solo discontinuidades superficiales sino también subsuperficiales de los cordones de soldadura.

En el caso inspección por Ultrasonido Phased Array versus la inspección a través de radiografía industrial, a pesar que ambos evalúan parámetros similares es decir que ambos examinan los cordones de soldadura de forma interna y no superficial, no se pueden comparar ya que existe gran diferencia en las longitudes inspeccionadas debido a que este último método solo fue aplicado a una sección de la tubería.

Durante la realización de la comparación de costos al consultar las empresas se pudo constatar que las dentro de las empresas consultadas no todas realizan todos los ensayos no destructivos debido a que no cuentan con personal capacitado, ya que para realizar un END se requiere que el personal se encuentre capacitado y certificado entidades acreditadas para este fin.

Basándose en la tabla comparativa de costos se puede comprender la diferencia entre las longitudes de soldadura inspeccionadas por los métodos de inspección visual y ultrasonido versus la inspección realizada por método de radiografía, la cual se da por la diferencia en los costos de aplicar cada uno de los END.

Como se mencionó anteriormente el no contar con personal capacitado y los equipos adecuados se convierte en un obstáculo para la prestación de los servicios de inspección a través de la aplicación de ensayos no destructivos, lo cual con lleva a que estos tengan costos más elevados.

### **Recomendaciones**

Para realizar una comparación de efectividad de los ensayos no destructivos aplicados es necesario que los métodos a compararse evalúen los mismos parámetros y a su vez estos se apliquen a las mismas longitudes de soldadura.

Elaborar un procedimiento en el que incluya plan de evaluación de soldadores con la finalidad de comprobar su continuidad semestralmente

Elaborar un programa de mantenimiento que incluya procedimientos de verificación de la calibración de equipos para el control de su estado, con sus respectivos certificados.

Establecer y ejecutar un plan de capacitaciones al personal encargado de realizar ensayos no destructivos para la mejora de interpretación de la lectura de los equipos

Realizar un control de calidad al material de aporte a utilizar al momento de su recepción, durante la verificación de las características propias del material descritas en el certificado versus la norma aplicable y la respectiva verificación visual antes de soldar; además de verificar que las condiciones de almacenamiento del material de aporte sean las apropiadas, para evitar el deterioro o daño del mismo.

### **Lista de referencias**

1. Sánchez García, D. E. (2013). Caracterización de la soldadura aplicada a una junta para tubería de acero API x52 (Doctoral dissertation).
2. Falcón Vázquez, E. P., Ramón, O., Sabino, L., & Zavala Velázquez, E. (2016). Importancia de la inspección de tuberías de aceros inoxidable y aceros al carbono utilizando pruebas no destructivas.
3. Astorga Sánchez, D., & Vargas Herrera, J. E. (2013). Diseño de manipulador mecánico de soldadura para tuberías de alta presión.
4. Oropeza Serrano, A. I., & Javier Oregón, J. (2015). Influencia en las propiedades mecánicas al aplicar soldadura MIG (metal inert gas), en un acero inoxidable.
5. Tapia Moreno, R. G. (2013). Análisis de la formación de porosidades en el proceso de soldadura SMAW e influencia en la Resistencia Mecánica de las juntas soldadas (Doctoral dissertation, QUITO, 2013.).
6. Torres Solano, J. A. (2013). Aplicación del proceso de soldadura en puentes vehiculares.
7. Hernández Castro, J. E. (2013). Estudio de la susceptibilidad a la corrosión bajo esfuerzos de uniones en tuberías de acero API 5L, X70 obtenidas por soldadura SMAW y MMA (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
8. ALVARADO CAMARILLO, J. O. S. A. F. A. T. (2014). SOLDADURA Y APLICACIONES.
9. Arboleda Lagos, A. M. (2016). Implementación de un plan de mejoramiento para el proceso de soldadura en la fabricación de unidades de campamentos en kno environmental solutions ltda.
10. Santillán Díaz, F. (2013). Calidad en inspección de soldadura.
11. Hidalgo Ortiz, F. E., & DT Cabrera, R. (2014). Estudio de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope mediante proceso GMAW aplicado a la aleación de aluminio 5086-H116 y su efecto en las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Diseño Mecánico).

12. Zamora Carranza, D. R. (2016). Diseño de un tanque hidroneumático para agua potable según la norma ASME (Bachelor's thesis, Espol).
13. Martínez Santaolalla, V. J. (2015). Implantación de un sistema de calidad de acuerdo al código ASME en la empresa" Aplicaciones Mecánicas Válvulas Industriales SA".
14. Dávila Ortiz, C. I. (2017). Implementación y aplicación del procedimiento de ultrasonido para control de calidad de la soldadura en tuberías de presión mediante la técnica difracción por tiempo de vuelo (Bachelor's thesis).
15. Pérez Paredes, J. G., Amendaño, S., & Armando, D. (2015). Elaboración de un manual de procedimientos para la inspección en uniones a tope para tubería de acuerdo a la norma API 1104 y código ASME B31. 3 con el equipo de ultrasonido Olympus Epoch 1000i (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Mecánica.).
16. de los Ríos, O. J. A. (2015). Caracterización de discontinuidades típicas en soldadura, utilizando la técnica de Ultrasonido Pulso Eco-Scan A. *Scientia Et Technica*, 20(4), 331-337.
17. PÉREZ, G. S. V. APLICACIONES Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS CON ULTRASONIDO EN LA INDUSTRIA. CASOS PRÁCTICOS UTILIZANDO EQUIPO DE MEDICIÓN EPOCH1000I.
18. González, C., Andrés, S., & Inostroza Hernández, M. J. (2013). Ensayos no destructivos mediante ultrasonido en equipos térmicos.
19. Zambrano Flores, J. X. (2015). Elaboración de una guía de inspección de soldadura y calificación de soldadores aplicado a las normas ASME BPVC y API 1104 (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2015.).
20. Naranjo, C., Sánchez, X., & Morales, J. (2014, May). Evaluación de un procedimiento de soldadura para el AISI 4130 sin PWHT bajo normas API 6A y ASME Sección IX. In Congreso de Ciencia y Tecnología (Vol. 9, No. 1, pp. 128-134).
21. Saldaña Bobadilla, E. (2014) "Determinación de la configuración y los parámetros óptimos para la radiografía de elementos de acero delgados utilizando la técnica de radiografía en movimiento" (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería de Soldadura. Pontificia Universidad Católica del Perú).

22. Carmona Villegas, C. A. (2013). “La radiografía como método de control de soldaduras” (Memoria para optar al Título de Ingeniero Constructor, Universidad Andres Bello. Chile).
23. American Society for Nondestructive Testing (2011), Radiographic Testing Classroom Training Book, Volume 4 Third Edition
24. Rivera, M., & Pablo, J. (2014). Estudio de integridad estructural mediante ultrasonido Phased Array.
25. García Dorado, Álvaro (2016). “Inspección con ultrasonidos de soldaduras de acero austenítico en componentes nucleares” (Proyecto fin de grado, Titulación: GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA. España).
26. Jiménez Benítez, Daniel & Bejarano Osorio, Daniel (2017). “Inspección de uniones soldadas mediante ensayo no destructivo de ultrasonido con el equipo veo 16-64 sonatest” (Trabajo de investigación formativa, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia)
27. Castro Revelo, Jonathan Fernando & Serrano Aguilar, Carlos Oswaldo (2016). “Influencia del tamaño de las discontinuidades en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas bajo la norma API 1104” (Tesis previa a la obtención del grado de Magíster en ingeniería mecánica. Mención materiales y procesos de manufactura. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador)
28. Ortiz, Gabriel. (2014). Defectos y discontinuidades de la soldadura.
29. Romero Reyes, Bernardo Jesús & Proboste Contreras, Felipe Hernán (2013). “Aplicación del ultrasonido al control de calidad de procesos de soldadura” (Seminario de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica. Universidad del Bío – Bío. Chile)
30. Acosta Echeverría, Miguel Arturo (2015). “Efecto sobre la resistencia mecanica y las discontinuidades en la soldadura a tope por destello (fbw) durante la fabricacion de aros para ruedas de acero”( Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de: MAESTRO EN INGENIERIA DE MATERIALES Y PROCESOS, Universidad Nacional de Colombia).

31. Pérez Vergara, Francisco (2009) “Defectos en soldaduras de estructura metálica. Aplicación a una obra en Barcelona”



# ANEXOS

## Anexo 1 Certificado Inspección Visual

	<b>CENDE</b>	<b>CAPACITACION EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b>
Calificación, Certificación, Asesorías e Inspecciones no Destructivas con niveles III ASNT y ACCP		
<b>NDT CERTIFICATION</b>		
REG. CEN-CC-708		
This Certificate attests that		
<b>MR. MARCOS AGENOR ERAS GUAMAN</b>		
Has been examined on the subject of		
<b>VISUAL TESTING LEVEL II</b>		
In accordance with		
<b>ASNT-SNT-TC-1A -2011 Edition</b>		
Examination results are:		
General: 89%		
Specific: 90%		
Practical: 90%		
Average: 90%		
Vision exam: Passed		
The above person was tested on, <b>January 04/2016</b> , and he has show the proper skills, training education and knowledge to present classroom, laboratory and on the job training program.		
This certification is valid only while the above person is employed in <b>OBRAPLANFIS S.A.</b>		
Date: <b>January, 04/2016</b>		Due date: <b>January, 04/2019</b>
 <b>Ing. Fredi Miño Salazar</b> ASNT NDT LEVEL III ASNT REG. 125657 <b>EXAMINATOR</b>	 <b>Ing. Jorge Eras</b> General Manager <b>OBRAPLANFIS S.A.</b>	
Urb. Pesquí, Av. Rafael Cuervo S8-115 y Dionisio Bras    telefax: 593-2-2355990, celular 593-9-88053593 Quito-Ecuador    E-mail: <a href="mailto:fminoo@seterdt.com.ec">fminoo@seterdt.com.ec</a> ; <a href="mailto:fredimino@gmail.com">fredimino@gmail.com</a>		
<a href="http://www.cendendt.com">www.cendendt.com</a>		

**Anexo 2 Certificado Inspección por ultrasonido Phased Array****GENE****CAPACITACION EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**  
Calificación, Certificación, Asesorías e Inspecciones no Destructivas con niveles III ASNT Y ACCP**NDT CERTIFICATION**

REG. CEN-CC-708

This Certificate attests that

**Mr. MARCOS AGENOR ERAS GUAMAN**

Has been examined on the subject of

**ULTRASONIC PHASED ARRAY TESTING  
LEVEL II**

In accordance with

**ASNT-SNT-TC-1A -2011 Edition**

Examination results are:

General: 90%

Specific: 91%

Practical: 90%

Average: 90%

Vision exam: Passed

The above person was tested on, **March 14/2015**, and he has show the proper skills, training education and knowledge to present classroom, laboratory and on the job training program. This certification is valid only while the above person is employed in **OBRAPLANFIS S.A.**

Date: **March, 14/2015**Due date: **March, 14/2018**

**Ing. Fredi Miño Salazar**  
ASNT NDT LEVEL III  
ASNT REG. 125657  
**EXAMINATOR**

**Ing. Jorge Eras**  
General Manager  
**OBRAPLANFIS S.A.**

Urb. Pusuqui, Av. Rafael Cuervo S8-115 y Dionisio Bras      telefax: 593-2-2355990, celular 593-9-467638  
Quito-Ecuador      E-mail: [fredimin@hotmail.com](mailto:fredimin@hotmail.com) ; [fmينو@setendt.com.ec](mailto:fmينو@setendt.com.ec)

# Anexo 3 Certificado Inspección Ultrasonido Convencional



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

### Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)

Confiere el presente  
CERTIFICADO

Al Ing.

**MARCOS ERAS GUAMAN,**

Por asistencia al Curso **"MEDICION DE ESPESORES POR ULTRASONIDO EN ESTRUCTURAS DE BARCOS"**, realizado del 18 al 19 de noviembre del presente año, con una duración de dieciséis (16) horas, (teoría y prácticas).

Guayaquil, 19 de noviembre de 2002



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP

Ing. Omar Serrano V.

INSTRUCTOR



# Anexo 4 Certificado Inspección por Radiografía



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN COMISIÓN ECUATORIANA DE ENERGÍA ATÓMICA (CEEAA)

Confieren el Presente

### CERTIFICADO


Al Señor

**MARCOS ERAS GUAMÁN**

Por asistencia y aprobación al Curso " RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL Y SEGURIDAD RADIOLOGICA ",  
realizado del 17 al 21 de Agosto del presente año, con una duración de Cuarenta (40) horas (teoría y prácticas).

Guayaquil , 21 de Agosto de 1998

  
Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FACULTAD

  
Ing. Omar Serrano V.  
INSTRUCTOR

  
Ing. Zoila Suárez  
JEFE ZONA II - CEEAA

## Anexo 5 Certificado Inspección Líquidos Penetrantes Nivel II





## Anexo 6 Certificado Inspección Líquidos Penetrantes Nivel I/II









**Anexo 7 Certificado Inspección Líquidos Penetrantes y partículas Magnéticas**

	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b> Confieren el Presente <b>C E R T I F I C A D O</b> Al Señor <b>MARCOS ERAS GUAMÁN</b></p>	<p>Por asistencia y aprobación al Curso " LÍQUIDOS PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS ", realizado del 13 al 17 de Julio del presente año, con una duración de Cuarenta (40) horas, (teoría y prácticas).</p>
 Ing. Eduardo Rivadeneira P. DECANO DE LA FACULTAD	 Ing. Omar Serrano V. INSTRUCTOR	Guayaquil , 17 de Julio de 1998



## Anexo 8 Certificado Calibración de Equipos

SERVICIOS TECNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MIÑO CIA LTDA								
IS A NON DESTRUCTIVE TESTING COMPANY								
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN								
	N° de Certificado:	2016-004	Fecha de Recepción del Equipo:	29/04/2016				
	W.O. N°:	160773	Fecha de Calibración:	02/05/2016				
	Fecha:	02/05/2016	Procedimiento:	SETE-PROC-CAL-001/ASTM E 317				
	Locación:	Laboratorio Quito	Cliente:	OBRAPLANFIS				
			Dirección:	Rosales II, Manzana F1, solar 1				
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PARA EQUIPOS DE ULTRASONIDO (UT) ARREGLO DE FASES								
DATOS DE LA CALIBRACIÓN								
DATOS DEL EQUIPO								
Equipo:	ARREGLO DE FASES		Modelo:	140213901				
Marca:	OLYMPUS		No. Serie:	EPOCH 1000I				
DATOS DEL PATRÓN DE CALIBRACIÓN								
Patrón:	Bloque Aluminio 7075		Identificación:	UT-001				
Modelo:	ASTM E 317		Fecha de calibración:	27/04/2016				
No. Serie:	12-3751		Trazabilidad:	Patrón Internacional de Longitud				
			No. de Informe:	LEFM-2016-072-FV				
CONDICIONES AMBIENTALES DE LA MEDICIÓN								
Temperatura inicial:	20 °C		Temperatura final:	21 °C				
Humedad relativa inicial:	69%		Humedad relativa final:	70%				
<p><b>TRAZABILIDAD:</b> El patrón utilizado en este procedimiento ha sido calibrado con instrumentos trazables a estándares nacionales e internacionales.</p> <p><b>PROCEDIMIENTO:</b> El procedimiento utilizado en la calibración ha sido desarrollado de acuerdo a requerimientos de la norma NTE/ INEN ISO/IEC 17025:2006 y ASTM E-317 (Evaluación de sistemas ultrasónicos pulso-eco sin el uso de instrumentos de medición), con el código SETE-PROC-CAL-001.</p> <p><b>NOTA:</b> Este certificado solo aplica para el ítem identificado y únicamente se podrá reproducir en forma completa y con la aprobación escrita específica de SETE Cia. Ltda.</p>								
1. LINEALIDAD HORIZONTAL								
<p>Seguindo la prueba de linealidad horizontal de acuerdo al procedimiento SETE-PROC-CAL-001 Párrafo 13.6 el cual cumple con el método ASTM E-317 Ed. 2011 párrafo 6.2-ANSI/AWS D.1.1 6.21 Y 6.22. Los resultados obtenidos fueron:</p>								
TABLA DE RESULTADOS (Unidades expresadas en mm)								
Reflexión	Valor Nominal	Tolerancia	Lecturas			Promedio	Error Absoluto	Error Relativo(%)
1	25.40	± 0.50	25.380	25.390	25.400	25.360	-0.04	-0.16
2	50.80	± 1.01	51.020	50.100	50.050	50.390	-0.41	-0.81
3	76.20	± 1.44	75.980	75.950	75.980	75.970	-0.23	-0.30
4	101.60	± 2.03	101.500	101.010	101.000	101.070	-0.43	-0.43
5	127.00	± 2.54	126.500	126.300	126.600	126.467	-0.53	-0.42
6	152.40	± 3.04	151.990	152.020	152.050	152.020	-0.38	-0.25
7	177.80	± 3.54	178.000	178.010	178.010	178.007	0.21	0.12
8	203.20	± 4.06	203.400	203.300	203.230	203.310	0.11	0.05
9	228.60	± 4.57	230.400	230.400	230.400	230.400	1.80	0.78
10	254.00	± 5.08	255.100	255.100	255.000	255.067	1.07	0.42
CALIBRADO POR:			APROBADO POR:					
 <b>TLGO. BYRON MIÑO</b> TECNICO NDT NIVEL II SNT-TC-1A / REG-CEN-CC-769			 <b>ING. FREDI MIÑO S.</b> GERENTE TÉCNICO NIVEL III ASNT - REG 125657					
Matriz Quito: Av. Naciones Unidas entre Ilaquito y Nuñez de Vela Ed. Metropolitano, Piso 8, Oficina 813 Sucursal El Coca: Francisco de Orellana, Km 5 1/2 Vía Lago Agrio.								
SETE FORM CAL 001      Fecha de Aprobación: 04/01/2016      Revisión: 00								

SERVICIOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS CORREA MUÑOZ CIA LTDA									
IS A FOR DESTRUCTIVE TESTING COMPANY									
									
2. LINEALIDAD VERTICAL									
<p>Según la prueba de linealidad vertical de acuerdo al procedimiento SETE-PRDC-CA-003 - Versión 1.0/1, con ejemplo con el método ASTM E-319 E01 2014 página 6.2, los resultados obtenidos fueron:</p>									
TABLA DE RESULTADOS (Unidades expresadas en % de amplitud)									
Valor Nominal	Amplitud	dB Ref.	Tolerancia	Lectura			Promedio	Error Absoluto	Error Relativo(%)
5	10%	25,40	+ 5,00%	5,00	6,00	6,00	5,67	0,67	0,13
10	20%	30,40	+ 5,00%	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00
15	30%	35,30	+ 5,00%	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00
20	40%	36,40	+ 5,00%	15,00	20,00	20,00	18,67	-0,33	-0,02
25	50%	38,30	+ 5,00%	25,00	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00
30	60%	39,30	+ 5,00%	30,00	30,00	30,00	30,00	0,00	0,00
35	70%	41,20	+ 5,00%	36,00	35,00	35,00	35,67	0,67	0,02
40	80%	42,50	+ 5,00%	40,00	40,00	40,00	40,00	0,00	0,00
45	90%	43,30	+ 5,00%	44,00	45,00	45,00	44,67	-0,33	-0,01
50	100%	44,30	+ 5,00%	50,00	50,00	50,00	50,00	0,00	0,00
<p style="text-align: center;">CONDICIÓN FINAL: <u>ACEPTADO</u></p> <p style="text-align: center;">La Incertidumbre de la medición fue: <math>\pm 0,105</math> mm</p> <p style="text-align: center;">La Incertidumbre expandida se obtuvo multiplicando la incertidumbre estándar con un factor de cobertura <math>k=2</math> correspondiente a un nivel de confianza de 95% simultáneamente.</p>									
<p>OBSERVACIONES: El equipo se encuentra dentro de los parámetros aceptables, no requiere ajustes</p>									
<p>CALIBRADO POR:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">   <b>BYRON MUÑOZ</b>              TÉCNICO DE LABORATORIO              NIVEL II SNT-TC-1A / REG-CEN-CC-769           </div>					<p>APROBADO POR:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">   <b>FREDY MUÑOZ</b>              GERENTE TÉCNICO              NIVEL III ASNT - REG 125957           </div>				
<p>Matriz Quito: Av. Naciones Unidas entre Piquito y Río de la Paz, Metroquitar, Piso 5, Oficina 513          Sucursal El Cajas: Francisco de Orellana, Km 3 1/2 Vía Lago Agrio  <a href="http://www.setetec.com.ec">www.setetec.com.ec</a></p>									
<p>SETE PCN/CA/003      Fecha de aprobación: 04/01/2015      Págs: 0001/01</p>									

## Anexo 9 Certificado Visual Light Meter



155 Harlem Avenue, Glenview, IL 60026  
847-867-5300 (ph) 847-417-4388 (fax)  
[www.magnaflex.com](http://www.magnaflex.com)

## CERTIFICATION REPORT

Company:	OBRAPLANFIS S.A	Service Tech.:	Jan Burz
Contact:	Hannel Eras Guaman	Description:	Visible Light Meter
Order #:	0024	Model #:	622338
Cust. P.O.#:		Serial #:	141202521
		Reference #:	F- 23804

Date Calibrated: 6/12/2016 Recommended Cal. Interval: 6 Months Begin Service Date: 06/02/2016

\*For new products the "Due Date" may be established (by the customer) by adding the "Recommended Call Interval" to the "Begin Service Date". All others are determined by "Due Date".

*Due Date:	Temperature	69.3	F	Relative Humidity	69	%
------------	-------------	------	---	-------------------	----	---

Due Date: \_\_\_\_\_ Temperature: \_\_\_\_\_ Date of Reading: \_\_\_\_\_

SYSTEM DATA									
Ideal		Actual 0-20		Ideal		Actual 0-200			
In four candles	Before	After	In four candles	Before	After				
2.0	2.13	2.15	2.0	2.3	2.3				
10.0	10.05	10.05	100.0	100.8	100.8				
19.0	18.55	18.65	180.0	177.3	177.3				
% Difference @			% Difference @						
Ideal Value	Before	After	Ideal Value	Before	After				
2.0	6.50	5.60	2.0	15.00	15.00				
10.0	0.60	0.60	100.0	0.60	0.60				
19.0	1.84	1.84	180.0	1.50	1.50				
Max. Dev.	6.50	6.50	Max. Dev.	15.00	15.00				
Equipment Status				Calibration Equipment Used to Certify Customer Unit:					
		Pass/Fail		Equipment	Serial Number	Calib. Exp.	Traceable Report		
Incoming		0-20 fc Before	Pass	05C-1043	1619532	8/5/2015	47194		
New	X	0-20 fc After	Pass	0X-535A	1612116	8/5/2015	147135		
In Calibration	X								
Out of Calibration		0-200 fc Before	Pass						
Inoperative		0-200 fc After	Pass						
				Comments					
Outgoing		Overall Before	Pass	Accuracy of meter is +/- 10% of reading or 0.5 fc whichever is greater.					
New	X	Overall After	Pass						
In Calibration	X								
Out of Calibration									
Inoperative									

Quality Assurance Representative:

This is to certify that this equipment has been certified in accordance with ANSI/NCSL 2540-1-1996 and the manufacturer's specifications. All standards and test methods used are accessible to the National Institute of Standards and Technology or other national or manufacturer's standards. This is a small section of a document, except in full, without the written approval of Virginia Division of Health, Environmental and Safety Services, Inc.

Phone number for Calibration: (847) 657-5300

IMETECO S.A.  
REVIEWED AND APPROVED BY  
.....

## Anexo 10 Proforma Obraplanfis S.A.

### OBRAPLANFIS S.A.

Obras y Proyectos en Ensayos No Destructivos  
CDLA. ROSALES II SOLAR 1 MZ. F1  
TELF: 2186739 – 2185698 – 0991793641  
EMAIL: obraplanfis@gmail.com  
GUAYAQUIL - ECUADOR

- ☆ Ultrasonido
- ☆ Radiografía Industrial
- ☆ Partículas Magnéticas
- ☆ Líquidos Penetrantes
- ☆ Inspección Visual
- ☆ Calificación de Soldadores



Guayaquil, 20 de Junio del 2017

Señorita Ing.  
Sara Beatriz Izurieta Yáñez  
Ciudad.-

ASUNTO: PRESUPUESTO PARA INSPECCION NO DESTRUCTIVA EN SOLDADURAS CIRCUNFERENCIALES Y LONGITUDINALES DEL PROYECTO "TUBERIA LEMAR".

#### 1.- TECNICAS Y OBJETIVO DE LA INSPECCIÓN:


- Radiografía.- Para detectar eventuales defectos internos en las soldaduras
- Ultrasonido Phased Array.- Para detectar eventuales defectos internos en las soldaduras.
- Líquidos Penetrantes: Para la detección de eventuales fisuras u otros defectos superficiales
- Inspección Visual.- Para la determinación de la condición estructural de las soldaduras que comprende la detección de eventuales defectos superficiales (porosidad, fisuras), el cumplimiento de tamaño y geometría, presencia de concavidad y convexidad, y socavaduras dentro de los límites permisibles u otros defectos superficiales.

#### 2.- COSTO DE LA INSPECCION

- Ultrasonido Phased Array: \$ 10.00 más IVA por cada metro de soldadura inspeccionada.
- Radiografía: \$36.00 más IVA por cada metro de soldadura inspeccionada.
- Líquidos Penetrantes: \$ 5.00 más IVA por cada metro de soldadura inspeccionada.
- Inspección Visual: \$ 120,00 más IVA por cada visita.

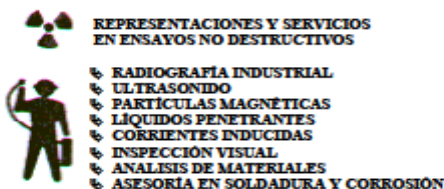
#### 3.- OBSERVACIONES

- Se requiere que los elementos a inspeccionarse estén libre de pinturas, óxidos u otros materiales que pudieran impedir la ejecución de la inspección.
- Se proporcionara a OBRAPLANFIS todas las facilidades que se requiere para la inspección, tales como: escaleras, andamios, iluminación, etc., que ofrezcan seguridad al personal y equipos.
- OBRAPLANFIS dispone para sus trabajos de su personal técnico certificado en Inspección Visual, Partículas Magnéticas, Líquidos Penetrantes y Ultrasonido, NIVEL II, de acuerdo al procedimiento de la Empresa basado en el esquema americano SNT-TC-1A.

Atentamente,  
  
Ing. Jorge Eras  
Gerente



## Anexo 11 Proforma Sendre Cía. Ltda.



### SENDRE Cía. Ltda.

RUC 0990949395001

CDLA. LA GARZOTA, MZ. 138 – SOLAR 7

TELF.: 2656093 - 2655288

E-MAIL: sendre@gye.satnet.net

www.sendre.com.ec

GUAYAQUIL - ECUADOR

Junio 19, 2017.

SENDRE - 104 - 2017.

Señora  
SARA IZURIETA YÁNEZ  
Ciudad.-

ASUNTO: PRESUPUESTO PARA INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA EN SOLDADURAS CIRCUNFERENCIALES y LONGITUDINALES DE TUBERÍA DE 3 METROS DE DÁMETRO y 12 METROS DE LONGITUD A EFECTUARSE EN GUAYAQUIL.

#### 1.- TÉCNICAS y OBJETO DE LA INSPECCIÓN

- Inspección Visual: Para determinar de la condición estructural de las soldaduras que comprende la detección de eventuales defectos superficiales (porosidad y fisuras), el cumplimiento del tamaño y geometría; y presencia de concavidad, convexidad y socavaduras dentro de los límites permisibles.
- Líquidos Penetrantes: Para detectar eventuales fisuras u otros defectos superficiales en las soldaduras.
- Radiografía: Para detectar eventuales defectos internos en las soldaduras.

#### 2.- COSTOS DE LA INSPECCIÓN




- Inspección Visual: \$125.00 más IVA por cada visita de trabajo.
- Líquidos Penetrantes: \$240.00 más IVA por la inspección de hasta 40 metros lineales de soldaduras. El costo de inspección de cada metro lineal de soldadura adicional es de \$6.00 más IVA.
- Radiografía: \$360.00 más IVA por cada visita de trabajo que incluye la inspección de hasta 9 metros lineales de soldaduras. El costo de inspección de cada metro lineal de soldadura adicional es de \$40.00 más IVA.
- Si los trabajos se efectúan en un día domingo o feriado, o en horario nocturno (a partir de las 5 pm) a los costos indicados se le adicionará \$60.00 más IVA por cada visita de trabajo.

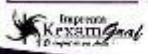
**Forma de Pago:** Por anticipado, previo a la inspección.

#### 3.- OBSERVACIONES

- Según sea aplicable se requiere:
  - Que las partes a inspeccionarse se encuentren limpias, libres de pintura, grasa, costras, revestimientos, óxidos u otros elementos que impidan la inspección.
  - De facilidades tales como: escaleras, andamios, iluminación, etc., y que los espacios donde se efectúe la inspección se encuentren completamente limpios, desgasificados y ventilados, de tal forma que ofrezcan seguridad al personal y equipos.

## Anexo 12 Proforma Sendades

 <b>SENDADES</b> SERVICIOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS S.A.		 R.U.C. 0992801158001 Dir.: Calle M # 800 y La 45 Telf.: 2848736 Cel. 0992341721 Web: www.sendades.com.ec Email: ensayos@sendades.com.ec Guayaquil - Ecuador		<b>PROFORMA</b>  <b>00067</b>
Cliente: <u>Ing. Sara Beatriz Izurieta Yáñez</u>		Fecha: <u>Lunes, 19 de Junio del 2017.</u>		
Dirección: _____		Telf.: _____ G. Rem.: _____		
R.U.C./C.I.: _____		Telf.: _____ G. Rem.: _____		
CANT.	DESCRIPCION	P. UNIT.	P. TOTAL	
	<p><b>INSPECCIÓN A LA JUNTAS SOLDADAS DE LAS VIROLAS DE LA TUBERÍA CON DIÁMETRO DE 3 METROS Y 12 METROS DE LONGITUD.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se realizara la inspección mediante el método de <b>Ultrasonido Phased Array</b> las juntas soldadas de la tubería, en el que se realizara la inspección de <b>40 metros lineales de soldadura</b>. El cual tendrá un costo de \$ 340,00 más IVA. El costo de la inspección de cada metro adicional de soldadura tendrá un valor de \$ 8,50 más IVA.</li> <li>Se inspeccionara mediante el método de <b>Tintas Penetrantes</b> las juntas soldadas de la tubería, en el que se realizara la inspección de <b>40 metros lineales de soldadura</b>. El cual tendrá un costo de \$ 240,00 más IVA. El costo de la inspección de cada metro adicional de soldadura tendrá un valor de \$ 6,00 más IVA.</li> <li>Se realizara <b>Inspección Visual</b> a las juntas soldadas de la tubería, en el que se realizara la inspección de <b>40 metros lineales de soldadura</b>. El cual tendrá un costo de \$ 100,00 más IVA.</li> </ul> <p><b>Observaciones:</b> Se requiere que las partes a inspeccionar (Soldaduras) estén libres de pintura, oxido, escorias, etc. y de la facilidad de proveer escaleras, andamios, canastillas en caso de realizarse trabajos en alturas.</p>			
SON: _____		<b>SUBTOTAL</b>		
 Ing. Alex Culequi O. Nivel II UT-MT-VT-PT <b>SENDADES</b>		<b>I.V.A. 0 %</b>		
RECIBÍ CONFORME _____		<b>I.V.A. 14 %</b>		
		<b>TOTAL \$</b>		


 ORIGINAL: CLIENTE  
 COPIA 1: EMISOR  
 COPIA 2: S.R.L.

## Anexo 13 Proforma Sindes

[illegible]